

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Edile

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

Tesi di Laurea Magistrale

Indagini sull'interoperabilità HBIM – GIS in un database europeo per la resilienza dei beni culturali



Relatore

Prof. Andrea Maria Lingua
.....

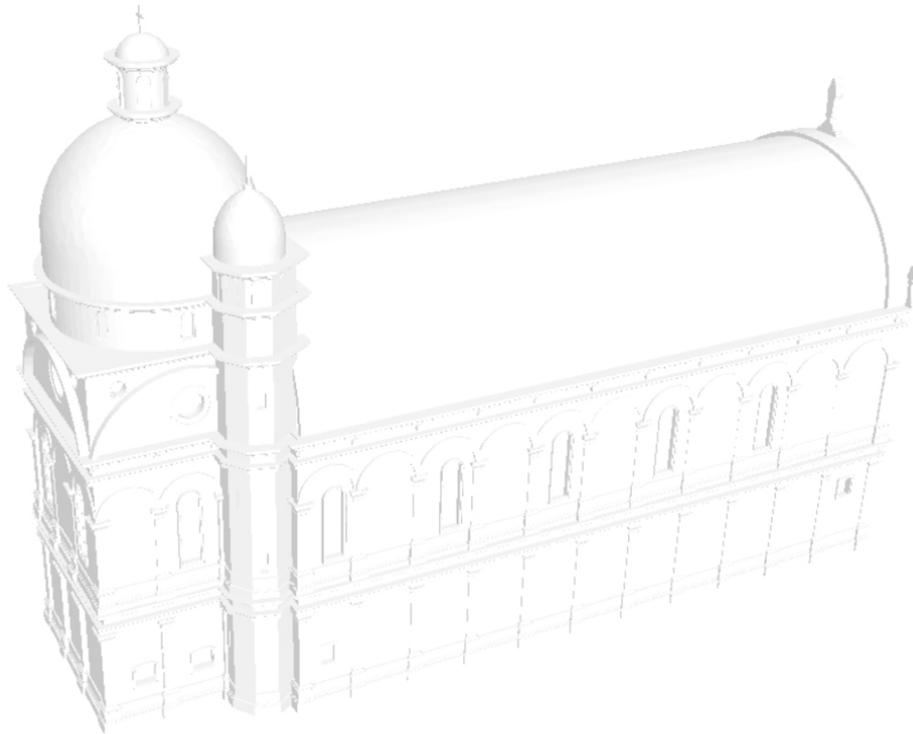
Correlatrice

Arch. Francesca Matrone
.....

Candidata

Valeria De Ruvo
.....

Aprile 2019



“Somehow I can’t believe that there are any heights that can’t be scaled by a man who knows the secrets of making dreams come true.

This special secret, it seems to me, can be summarized in four Cs.

They are curiosity, confidence, courage, and constancy, and the greatest of all is confidence.

When you believe in a thing, believe in it all the way, implicitly and unquestionable”.

Walt Disney

*A “Ohana”, a cui devo tutto,
con tutto l’amore che ho.*

Abstract (IT)

Nella nostra società il patrimonio culturale costituisce un elemento chiave della valorizzazione di un luogo e della relativa popolazione. La tutela dei beni che lo compongono, assume un'importanza ancor più evidente se si sottolinea la loro unicità e irripetibilità.

Nasce da ciò l'esigenza di ridurre i rischi legati ai disastri esistenti e di evitarne la creazione di nuovi, che potrebbero entrambi compromettere un bene, sia esso mobile o immobile.

In tale ottica si pone il progetto ResCult "*Increasing RESilience of CULTural Heritage*", finanziato dall'Unione Europea, che mediante un approccio complesso e multi-disciplinare, affronta il tema della resilienza dei beni culturali nei confronti dei disastri e la conseguente necessità di incrementarne la protezione.

L'obiettivo è passare dalla gestione dei disastri allo sviluppo di una strategia di riduzione del rischio di catastrofi. Per farlo, il progetto propone di ricorrere alle tecniche della Geomatica, implementando un "*Database Interoperabile Europeo*" (EID) georeferenziato, integrato per i beni culturali, progettato per fornire un quadro di riferimento europeo unico, armonizzato e utilizzabile da tutti gli enti coinvolti.

Nella presente tesi viene descritta la metodologia che ha permesso la creazione dell'EID, partendo dallo studio degli standard esistenti a livello nazionale e internazionale, al fine di garantire una rappresentazione uniforme dei beni culturali.

Questo approccio è stato sperimentalmente applicato a tre casi studio inerenti tre diversi beni culturali, distinti per caratteristiche fisiche e storiche. Il primo è il Museo della Preistoria situato in Quinson, nell'alta Provenza, di recente edificazione ma contenente un importante patrimonio di beni mobili, il secondo è la Basilica di San Nicola a Tolentino (Marche), edificio storico lesionato dal recente terremoto in centro Italia, il terzo è la Chiesa di Santa Maria dei Miracoli a Venezia, risalente al 1400 e vulnerabile ai rischi di origine idrologica. Tutti e tre i casi studio sono stati modellati seguendo lo standard di rappresentazione multiscala previsto da CityGML, opportunamente esteso.

In particolare, accanto alle acquisizioni sul campo e alle successive elaborazioni dei dati realizzate per i primi due casi studio, verranno descritte le attività di modellazione inerenti il caso studio di Venezia, particolarmente significativo in quanto basato

solamente su rappresentazioni cartacee bidimensionali (piante, prospetti e sezioni), in genere disponibili per la maggior parte del patrimonio architettonico.

La Chiesa di Santa Maria dei Miracoli, è stata modellata mediante un *software* “BIM Oriented”, che oltre alla definizione delle geometrie, ha permesso anche l’inserimento di informazioni descrittive in forma di attributi, successivamente inserite nell’EID (interoperabilità).

Il risultato finale è un *database* geometrico tridimensionale multiscala (fino al livello di dettaglio 4, LoD4), consultabile da Protezione Civile o altri enti, i quali potranno interrogare le geometrie e scegliere le migliori procedure operative da adottare in caso di rischio.

Abstract (EN)

In our society, Cultural Heritage (CH) is the key element in the valorisation of a place and its population. The protection of the assets that compose it, assumes an even more evident importance if it is emphasized their uniqueness and unrepeatability.

This led to the need to reduce the risks associated with existing disasters and to avoid the creation of new ones, which could both compromise a CH, be it movable or immovable.

In this perspective, the ResCult project “*Increasing RESilience of CULTural Heritage*”, funded by the European Union, arises; through a complex and multi-disciplinary approach, it faces the issue of the resilience of Cultural Heritage towards disasters and the consequent need to increase its protection.

The goal is to move from disaster management to the development of a disaster risk reduction strategy. To do that, the project proposes the use of Geomatic techniques, implementing a geo-referenced “European Interoperable Database” (EID), integrated for Cultural Heritage, designed to provide a single European reference framework, harmonized and usable by all institutions involved.

This thesis describes the methodology that allowed the creation of the EID, starting from the study of the existing national and international standards, in order to guarantee a uniform representation of Cultural Heritage.

This approach has been experimentally applied to three case studies concerning three different cultural assets, distinguished by physical and historical characteristics. The first is the Museum of Prehistory located in Quinson, in Haute-Provence, recently built but containing an important heritage of movable ones, the second is the Basilica of San Nicola in Tolentino (Marche), a historic building damaged by the recent earthquake in the center of Italy, the third is the Church of Santa Maria dei Miracoli in Venice, dating back to 1400 and vulnerable to risks of hydrological origin. All the three case studies were modeled following the multiscale representation standard provided by CityGML, appropriately extended.

In particular, alongside the acquisitions in the field and the subsequent data processing carried out for the first two case studies, the modeling activities related to the case study of Venice will be described, particularly significant as it is based only on two-

dimensional paper representations (plants, elevations and sections), generally available for most of the architectural heritage.

The Church of Santa Maria dei Miracoli was modeled using a “BIM Oriented” software; in addition to defining the geometry, it also allowed the insertion of descriptive informations in the form of attributes, subsequently inserted into the EID (interoperability).

The final result is a multiscale three-dimensional geometric database (up to the level of detail 4, LoD4), which can be consulted by Civil Protection or other stakeholders, so they will be able to interrogate the geometries and choose the best operational procedures to be adopted in case of risk.

Indice

Abstract (IT)	I
Abstract (EN)	III
Introduzione	XXI
1. Il progetto ResCult	1
1.1 Il Forum Utenti	3
1.2 Verso la progettazione dell'EID: standard per l'interoperabilità.....	5
1.2.1 La rappresentazione dei beni culturali	8
1.2.2 La rappresentazione di rischi e pericoli	14
1.2.3 La rappresentazione di oggetti cartografici	17
1.3 Il <i>database</i> : propositi e risultati	22
1.3.1 Estensione del modello di dati INSPIRE.....	24
1.4 Interazione con le sei interfacce.....	26
1.4.1 Mappa del patrimonio europeo – <i>Cultural Heritage</i>	27
1.4.2 Archivio delle informazioni relative ai disastri – <i>Disaster Information</i>	28
1.4.3 Modelli 3D – <i>3D Models</i>	29
1.4.4 Analisi di rischio – <i>Risk Analysis</i>	30
1.4.5 Esempi di buone pratiche – <i>Advice - Seeking</i>	31
1.4.6 Popolamento del <i>database</i> – <i>Crowd Aquiring</i>	32
2. Progettazione e strutturazione dell'EID	35
2.1 Modelli Esterni	37
2.1.1 <i>Protected Site</i>	38
2.1.2 <i>Building</i>	38
2.1.3 <i>Hazard and Risk</i>	39
2.1.4 <i>Possible Extensions</i>	40
2.1.5 <i>Best Practices</i>	40
2.2 Modello Concettuale.....	41
2.2.1 Struttura semplificata dell'EID.....	43
2.2.2 Relazioni	45

2.3 Modello Logico	47
2.4 Modello interno: l'implementazione dell'EID	48
3. Acquisizione dei dati	53
3.1 Il caso studio di Quinson	54
3.1.1 Rilievo topografico	56
3.1.2 Rilievo LiDAR	63
3.1.3 Rilievo fotogrammetrico	69
3.2 Il caso studio di Tolentino	74
3.2.1 Rilievo topografico	77
3.2.2 Rilievo LiDAR	82
3.2.3 Rilievo fotogrammetrico	89
3.3 Il caso studio di Venezia	93
3.3.1 Raccolta del materiale	94
4. Elaborazione dei dati	97
4.1 Quinson	97
4.1.1 Dati acquisiti con tecnica topografica	98
4.1.2 Dati acquisiti con tecnica fotogrammetrica	107
4.1.3 Dati acquisiti con tecnica LiDAR manuale	112
5. Modellazione	115
5.1 Quinson	116
5.2 Tolentino	118
5.3 Venezia	122
5.3.1 La modellazione con <i>software</i> AutoCAD	122
5.3.2 La modellazione con <i>software</i> Revit	124
6. Il popolamento dell'EID	137
6.1 Dispositivo e <i>software</i> utilizzati	137
6.2 Creazione dell'EID	138
6.3 Connessione al <i>database</i>	141
6.4 Conversione del LoD3 in formato GIS	143
6.4.1 L'inserimento nell'EID	145

6.5 Conversione del LoD4 in formato GIS.....	149
6.5.1 Costruzione del primo <i>workspace</i>	151
6.5.2 Verifica interoperabilità a seguito del primo <i>workspace</i>	159
6.5.3 Costruzione del secondo <i>workspace</i>	164
6.5.4 Georeferenziazione	166
6.5.5 Costruzione del terzo <i>workspace</i>	167
6.5.6 L’inserimento nell’EID.....	172
Conclusioni	183
Riferimenti.....	187
Articoli	187
Bibliografia	188
Sitografia.....	189
<i>Software</i> utilizzati	191
Tesi.....	191
Allegati	193
Ringraziamenti.....	197

Indice delle figure

Figura 1 - Progetto ResCult finanziato dalla Commissione Europea.	1
Figura 2 - Partners coinvolti nel progetto ResCult.	2
Figura 3 - Percentuale di esperti coinvolti al primo Forum Utenti.	4
Figura 4 - Struttura dell'EID e interazione con gli utenti.	6
Figura 5 - Integrazione delle classificazioni a livello nazionale e internazionale.	12
Figura 6 - Standard internazionali di mappatura.	18
Figura 7 - Flusso di lavoro.	19
Figura 8 - Livelli di dettaglio previsti in CityGML.	21
Figura 9 - Schermata via Web per accedere alle sei interfacce dell'EID di ResCult. ..	26
Figura 10 - Esempio di visualizzazione secondo il LoD1.	27
Figura 11 - Esempio di visualizzazione secondo il LoD2.	27
Figura 12 - Esempio di microzonazione sismica, rappresentazione spaziale.	28
Figura 13 - Esempio di microzonazione sismica, rappresentazione puntuale.	28
Figura 14 - Esempio di informazione aggiuntiva tramite la funzione "Hotspot" nel caso studio di Tolentino.	29
Figura 15 - Risultati del metodo AREC applicati al caso studio di Venezia.	30
Figura 16 - Schermata disponibile via Web per l'aggiunta di "Best Practices".	31
Figura 17 - Schermata per l'upload di "Best Practices".	32
Figura 18 - Schermata per l'upload di un bene culturale.	33
Figura 19 - Schermata per l'upload di un database.	34
Figura 20 - Processi di progettazione dell'EID di ResCult.	35
Figura 21 - Entità prevista per le "migliori pratiche".	41
Figura 22 - Attributi dell'entità "bestPractice" con indicazione del collegamento logico.	41
Figura 23 - Esempio di porzione del modello di dati INSPIRE e sua estensione in ResCult.	42
Figura 24 - Struttura semplificata del Modello Concettuale di ResCult.	43
Figura 25 - Entità connesse al settore "Protected Site".	44
Figura 26 - Entità connesse al settore "Building".	44
Figura 27 - Entità connesse al settore "Hazard and Risk".	44
Figura 28 - Entità connesse al settore "Possible Extensions".	45

Figura 29 - Esempio di gerarchia tra entità in relazione tra loro.	45
Figura 30 - Esempi di cardinalità “1 a 1”, “1 a n”, “n a 1” e “n a m”.	46
Figura 31 - Porzione estesa del modello di dati.	48
Figura 32 - Tabella degli attributi dell’entità “psprotectedsite”.	49
Figura 33 - Tabella degli attributi dell’entità “bubuilding”.	49
Figura 34 - Tabella degli attributi delle entità riguardanti i tre rischi naturali.	50
Figura 35 - Tabella degli attributi delle entità riguardanti le possibili estensioni del DB.	51
Figura 36 - Piazza antecedente l’ingresso al Museo (in alto a sinistra), viste interne (in basso a sinistra e destra, in alto a destra).	54
Figura 37 - Modalità operative riguardanti la fase di acquisizione dati.	55
Figura 38 - Schermata del Museo della Preistoria di Quinson da Google Earth Pro e indicazione dei vertici scelti per il posizionamento dei ricevitori Leica.	56
Figura 39 - Posizionamento dei marker su terreno.	58
Figura 40 - Schema della modalità di rilievo pseudo statica.	58
Figura 41 - Registrazione dei marker posizionati a terra indicati con un punto rosso e numerati da “102” a “117”.	59
Figura 42 - Applicazione della tecnica di rilievo RTK e registrazione dei punti “115” (a sinistra) e “117” (a destra).	59
Figura 43 - Applicazione della tecnica di rilievo RTK stazionando per alcuni secondi con il rover su un punto naturale coincidente con lo spigolo di un tombino.	60
Figura 44 - Indicazione della posizione dei marker su uno dei prospetti del Museo di Quinson (a sinistra), e loro registrazione mediante stazione totale (a destra).	60
Figura 45 - Stesura eidotipo con indicazione dei marker su parete e loro enumerazione corrispondente alla nomenclatura utilizzata mediante stazione totale.	61
Figura 46 - Registrazione di due punti materializzati con target su parete (a sinistra), di un punto coincidente con lo spigolo di un tombino (in alto a destra) e di un altro coincidente con lo spigolo di uno dei riquadri con cui risulta suddiviso il fronte del Museo (in basso a destra).	62
Figura 47 - Procedura di triangolazione (a sinistra) eseguita per il Museo di Quinson sfruttando un mini prisma Leica 360 (a destra).	62
Figura 48 - Esempio di laser scanner mobile con tecnologia SLAM: Kaarta STENCIL.	63
Figura 49 - Esempio di laser scanner mobile con tecnologia SLAM: GeoSLAM ZEB-REVO.	65

Figura 50 - Schermata da CloudCompare della traiettoria percorsa con lo strumento Kaarta Stencil.	66
Figura 51 - Schermata da CloudCompare della nuvola di punti ottenuta dal rilievo con Kaarta Stencil.	66
Figura 52 - Schermata da software Hub di GeoSLAM utilizzato per la sincronizzazione dei dati acquisiti per i fronti del Museo.	67
Figura 53 - Attività di acquisizione degli spazi esterni del Museo con strumento ZEB-REVO, connesso a dispositivo iPad mini 4 per la corretta sincronizzazione.	67
Figura 54 - Schermata da software Hub di GeoSLAM utilizzato per la sincronizzazione dei dati acquisiti per gli spazi interni del Museo.	68
Figura 55 - Attività di acquisizione degli spazi interni del Museo con strumento ZEB-REVO, connesso a dispositivo iPad mini 4 per la corretta sincronizzazione.	68
Figura 56 - Esempio di camera Nikon D800E.	69
Figura 57 - Esempio di camera Nikon Coolpix P1.	70
Figura 58 - Esempio di dispositivo iPad mini 4.	70
Figura 59 - Esempio di mini drone DJI Spark.	72
Figura 60 - Esempio di drone DJI Phantom 4 Pro.	72
Figura 61 - Differenti piani di volo previsti per il drone DJI Phantom 4 Pro. Schermate da software Mission Planner.	73
Figura 62 - La facciata della Basilica di San Nicola da Tolentino (a sinistra), il chiostro (in alto a destra) e l'interno (in basso a destra).	74
Figura 63 - Modalità operative riguardanti la fase di acquisizione dati.	75
Figura 64 - Indicazione delle tre Piazze sulle quali hanno lavorato i tre gruppi del team DIRECT.	76
Figura 65 - Indicazione delle vie circostanti la Basilica di San Nicola a Tolentino (MC).	76
Figura 66 - Schema riassuntivo dei punti acquisiti per il caso studio di Tolentino durante precedenti campagne di rilievo, con indicazione dei vertici "T100" e "T200" a cui ci si è agganciati per la nuova attività del team DIRECT.	77
Figura 67 - Eidotipo redatto dal team DIRECT durante lo stage di Settembre, al fine di indicare la posizione dei marker su parete nella Piazza S. Nicola.	78
Figura 68 - Posizionamento di marker a scacchiera sulle pareti della Basilica di San Nicola a Tolentino (a sinistra) e degli edifici circostanti (a destra).	78

Figura 69 - Fase di registrazione dei marker mediante strumentazione Leica TS 06 posizionata sul vertice noto “T200” e successiva ripresa fotografica mediante iPad..	79
Figura 70 - Marker rinominati opportunamente in seguito alla loro registrazione mediante strumentazione Leica TS 02.....	79
Figura 71 - Schermata della Concattedrale di San Catervo, Tolentino (MC) da Google Earth Pro.....	80
Figura 72 - Monografie redatte per i vertici “TOLE 500” e “TOLE 600”.....	80
Figura 73 - Eidotipo raffigurante i punti artificiali e naturali registrati con stazione totale.....	81
Figura 74 - Esempio di strumento FARO Focus 3D MS 120.....	82
Figura 75 - Indicazione delle scansioni laser eseguite nella Piazza S. Nicola con strumentazione FARO Focus 3D MS 120.....	84
Figura 76 - Esempio di strumento FARO Focus X330.....	84
Figura 77 - Indicazione delle scansioni laser eseguite nella Piazza Domenico Silveri con strumentazione FARO Focus X330.....	86
Figura 78 - Indicazione delle scansioni laser eseguite nella Piazza S. Vincenzo M. Strambi con strumentazione FARO Focus X330.....	86
Figura 79 - Esempio di strumento Imaging Laser Scanner Leica BLK360.....	87
Figura 80 - Indicazione delle scansioni laser eseguite lungo Via Guglielmo Oberdan con strumentazione Leica BLK360.....	89
Figura 81 - Esempio di strumento GoPro Fusion (in alto a sinistra) dotato di due schede SD per la ripresa frontale e retrostante (in basso a sinistra).....	90
Figura 82 - Rilievo eseguito mediante GoPro Fusion montata su caschetto.....	91
Figura 83 - Fermo immagine estratto da uno dei video eseguiti con GoPro Fusion e salvato nella micro- SD frontale.....	91
Figura 84 - Esempio di drone DJI Mavic Pro pieghevole con radiocomando.....	92
Figura 85 - Strumento DJI Mavic Pro utilizzato per il rilievo fotogrammetrico nella Piazza Domenico Silveri (a sinistra) e relative viste acquisite (a destra).....	93
Figura 86 - Fronte principale della Chiesa Santa Maria dei Miracoli (in alto a sinistra) e dettaglio marmi policromi in facciata (in basso a sinistra).....	94
Figura 87 - Esempi di materiale raccolto per procedere alla modellazione tridimensionale della Chiesa.....	95

Figura 88 - Sequenza delle fasi operative riguardanti l'elaborazione dei dati. Dall'elaborazione dei dati acquisiti con tecnica topografica, è stato possibile ottenere la georeferenziazione dei punti.	98
Figura 89 - Schermata del sito dell'IGN francese. Indicazione della posizione delle cinque stazioni permanenti (cerchiate in rosso) e del Museo di Quinson (triangolo nero).	100
Figura 90 - Schermata del sito dell'IGN francese.	101
Figura 91 - Calcolo delle baseline.	102
Figura 92 - Calcolo delle baseline.	102
Figura 93 - Calcolo delle baseline (di colore rosso), degli ellissi di errore e delle precisioni in z (entrambe di colore blu).	104
Figura 94 - Schermata da AutoCAD del risultato della compensazione della rete.	106
Figura 95 - Schermata dal workspace di Agisoft Photoscan.	108
Figura 96 - Schermata da CloudCompare di una delle nuvole dense di punti ottenute dal rilievo con tecnica fotogrammetrica terrestre.	109
Figura 97 - Schermata da CloudCompare di una delle nuvole dense di punti ottenute dal rilievo con tecnica fotogrammetrica terrestre.	110
Figura 98 - Schermata da CloudCompare di una delle nuvole dense di punti ottenute dal rilievo con tecnica fotogrammetrica terrestre.	110
Figura 99 - Schermata da CloudCompare della nuvola densa di punti ottenuta dal rilievo con tecnica fotogrammetrica aerea.	111
Figura 100 - Sequenza delle fasi da svolgere in seguito all'ottenimento delle singole nuvole dense di punti.	111
Figura 101 - Allineamento della porzione di nuvola UAV relativa all'esterno del Museo, con la nuvola ZEB ottenuta dal rilievo degli interni mediante tecnica LiDAR manuale.	113
Figura 102 - Esportazione del DDSM, visibile in scala di grigi, e sua importazione in ArcScene.	114
Figura 103 - Modelli tridimensionali elaborati secondo i livelli di dettaglio previsti dallo standard CityGML.	115
Figura 104 - Modellazione tridimensionale del Museo della Preistoria e degli edifici circostanti.	117
Figura 105 - Importazione in ambiente GIS dei risultati ottenuti con software CAD.	117

Figura 106 - Schermata da 3DHOP dei due modelli tridimensionali ottenuti in seguito alla generazione di mesh 3D e all'applicazione delle corrispondenti texture con software Agisoft Photoscan.	118
Figura 107 - Nuvole di punti sulla Basilica di San Nicola a Tolentino ottenute durante la fase di elaborazione dati dal gruppo di Geomatica del Politecnico di Torino.	119
Figura 108 - Nuvola di punti sulla porzione di territorio in prossimità della Basilica.	119
Figura 109 - Ortofoto del contesto in cui risulta inserita la Basilica di San Nicola a Tolentino.	120
Figura 110 - Modellazione tridimensionale della Basilica e del Convento.	121
Figura 111 - Importazione in ambiente GIS dei risultati ottenuti con software CAD.	121
Figura 112 - LoD1 del caso studio e del contesto.	122
Figura 113 - Digitalizzazione del materiale fornito dai partner CORILA sulla Chiesa di Santa Maria dei Miracoli.	123
Figura 114 - Modellazione tridimensionale della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli con costruzione di polilinee chiuse 3D.	123
Figura 115 - Modello tridimensionale realizzato in AutoCAD 2018 sfruttando il comando "3DPOLI" e importato in ArcScene versione 10.5.	124
Figura 116 - Modellazione del frontone semicircolare in facciata.	125
Figura 117 - Zoom sulla modellazione delle coperture previste per il LoD2.	126
Figura 118 - Schermata da Revit 2018 del LoD3 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli.	126
Figura 119 - Modellazione del sopralco e della ringhiera in controfacciata (a sinistra).	127
Figura 120 - Modellazione dei due pilastri in controfacciata e nella zona absidale (a sinistra).	128
Figura 121 - Modellazione delle arcate poste al di sopra delle finestre presenti all'interno della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli.	129
Figura 122 - Modellazione delle statue poste sul frontone semicircolare del prospetto principale.	129
Figura 123 - Schermata da Revit 2018 del risultato ottenuto in merito alla modellazione del LoD4 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli.	130
Figura 124 - Schema riassuntivo delle tre tipologie di informazioni inserite in Revit, secondo tre diverse modalità di compilazione.	130
Figura 125 - Assegnazione della posizione geografica, espressa in termini di latitudine e longitudine, al LoD4 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli.	131

Figura 126 - <i>Procedura eseguita per modificare le informazioni di default relative al materiale associato a ciascun componente modellato.</i>	132
Figura 127 - <i>Assegnazione delle informazioni associate al materiale creato “Marmo – Pavonazzetto Toscano”.</i>	133
Figura 128 - <i>Creazione del parametro condiviso “anno_restauero”.</i>	134
Figura 129 - <i>Creazione parametro di progetto per le categorie contrassegnate con una spunta.</i>	135
Figura 130 - <i>Inserimento dell’informazione relativa all’anno in cui il basamento selezionato in blu è stato restaurato.</i>	135
Figura 131 - <i>Schermata da PgAdmin della struttura dell’EID.</i>	139
Figura 132 - <i>Schermata da QGIS degli shapefile e dei dati raster utilizzati per il popolamento dell’EID di ResCult con le geometrie del caso studio di Venezia.</i>	140
Figura 133 - <i>File in formato QGIS scaricato dal Web, relativo al caso studio di Venezia e utilizzato come progetto da connettere all’EID per procedere col suo popolamento.</i>	141
Figura 134 - <i>Inserimento delle credenziali per l’accesso all’EID con il software open source.</i>	142
Figura 135 - <i>Visualizzazione dell’EID tramite l’interfaccia grafica di QGIS.</i>	142
Figura 136 - <i>Workflow per l’inserimento del LoD3 nell’EID di ResCult.</i>	143
Figura 137 - <i>Georeferenziazione manuale del LoD3 della Chiesa, sulla base dello shapefile relativo alle unità volumetriche, contenente quello che è stato utilizzato come LoD1 (volume 3D senza modellazione dei tetti) della stessa.</i>	144
Figura 138 - <i>Tabella degli attributi dello shapefile del LoD3.</i>	144
Figura 139 - <i>Pannello dei layer organizzato secondo vari gruppi, coincidenti con i diversi livelli di dettaglio previsti per il caso studio di Venezia.</i>	145
Figura 140 - <i>Aggiunta sulla mappa del layer selezionato, corrispondente a una delle tabelle costruite nell’EID.</i>	146
Figura 141 - <i>Tabella degli attributi di “bubuilding” importata nel gruppo “LOD3”.</i>	146
Figura 142 - <i>Importazione nel progetto QGIS dello shapefile relativo al LoD3 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli.</i>	147
Figura 143 - <i>Tabella “bubuilding” dell’EID correttamente popolata con le geometrie dello shapefile relativo al LoD3 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli.</i>	147
Figura 144 - <i>Attivazione della mappa 3D per il LoD3 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli.</i>	148

Figura 145 - <i>Workflow per l'inserimento del LoD4 nell'EID di ResCult.</i>	150
Figura 146 - <i>Impostazione dei parametri per la visualizzazione del formato di file Autodesk Revit.</i>	151
Figura 147 - <i>Schermata da FME Data Inspector del file .rvz.</i>	152
Figura 148 - <i>Importazione della feature con l'informazione della posizione geografica.</i>	152
Figura 149 - <i>Importazione delle sette feature con geometrie.</i>	153
Figura 150 - <i>Impostazione dei parametri inerenti il file di output scelto per la conversione.</i>	153
Figura 151 - <i>Schermata da FME Workbench del primo workspace costruito.</i>	154
Figura 152 - <i>Interfaccia del trasformatore "Attribute Manager".</i>	154
Figura 153 - <i>Interfaccia del trasformatore "AttributeRemover".</i>	155
Figura 154 - <i>Serie di attributi visibili solo nel pannello a destra, ma non in basso. ...</i>	155
Figura 155 - <i>Esposizione manuale degli attributi di una feature mediante Microsoft Excel.</i>	156
Figura 156 - <i>Interfaccia del trasformatore "AttributeExposer".</i>	157
Figura 157 - <i>Tipo di geometria per la feature "Building" (a sinistra); tipo di geometria per la feature "Roof" (a destra).</i>	158
Figura 158 - <i>Schermata da FME Workbench del primo workspace, in seguito alla conversione ultimata.</i>	158
Figura 159 - <i>Interfaccia della finestra relativa al processo di conversione.</i>	158
Figura 160 - <i>Ispezione dello shapefile "Building", contenente l'informazione sulla posizione geografica della Chiesa di Venezia.</i>	159
Figura 161 - <i>Importazione dello shapefile "Building" all'interno del software ArcScene, al fine di valutare le informazioni conservate nella tabella degli attributi.</i>	160
Figura 162 - <i>Ispezione dello shapefile "Window".</i>	160
Figura 163 - <i>Importazione dello shapefile "Window" all'interno del software ArcScene, al fine di valutare le informazioni conservate nella tabella degli attributi.</i>	161
Figura 164 - <i>Schermata da ArcScene degli shapefile creati mediante FME Workbench.</i>	162
Figura 165 - <i>Tabella degli attributi dello shapefile "Door".</i>	162
Figura 166 - <i>Tabella degli attributi dello shapefile "Roof".</i>	163
Figura 167 - <i>Tabella degli attributi dello shapefile "Slab".</i>	163
Figura 168 - <i>Tabella degli attributi dello shapefile "Wall".</i>	164
Figura 169 - <i>Schermata da FME Workbench del secondo workspace costruito.</i>	165
Figura 170 - <i>Ispezione dello shapefile "SMM_LOD4_".</i>	165

Figura 171 - Schermata da ArcScene del LoD3 e del LoD4 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli.....	166
Figura 172 - Georeferenziazione del LoD4 (di colore bianco) sulla base del LoD3 (di colore rosa).....	167
Figura 173 - Impostazione dei parametri per lo shapefile “SMM_LOD4_1”, costituente il “Reader” del terzo workspace.	168
Figura 174 - Impostazione del formato di dati previsto per il “Writer” del terzo workspace.	168
Figura 175 - Impostazione dei parametri del “Writer”.....	169
Figura 176 - Impostazione dei parametri della feature costituente la tabella da creare nell’EID.	169
Figura 177 - Interfaccia del trasformatore “GeometryFilter”.....	170
Figura 178 - Interfaccia del trasformatore “GeometryCoercer”.....	170
Figura 179 - Schermata da FME Workbench del terzo workspace costruito.....	171
Figura 180 - Ispezione delle geometrie che a seguito della conversione in “fme_composite_surface” non hanno subito alcuna modifica.....	171
Figura 181 - Ispezione del file di output dell’ultimo workspace.	172
Figura 182 - Schermata da PgAdmin della struttura dell’EID.....	173
Figura 183 - Schermata da PgAdmin dei dati afferenti la tabella “SMM_LOD4_1”..	173
Figura 184 - Esecuzione della query che consente la conversione del linguaggio WKB in WKT.	174
Figura 185 - Descrizione delle tipologie di geometrie coinvolte.....	175
Figura 186 - Elenco delle colonne contenute nella tabella “SMM_LOD4_1”.	175
Figura 187 - Esecuzione della query per copiare il contenuto di una tabella all’interno di un’altra.	176
Figura 188 - Messaggio ottenuto a seguito dell’esecuzione della query per copiare il contenuto di una tabella all’interno di un’altra.	176
Figura 189 - Aggiunta sulla mappa del layer selezionato, corrispondente alla tabella dell’EID contenente il LoD4.....	177
Figura 190 - Tabella degli attributi di “bubuilding”, contenente le informazioni e le geometrie associate al LoD4, visibile su mappa 2D.	177
Figura 191 - Schermata da QGIS quando si abilita la visualizzazione 3D del LoD4.	178
Figura 192 - Visualizzazione su mappa 3D del LoD4..	179
Figura 193 - Visualizzazione su mappa 3D degli interni del LoD4.....	179

Figura 194 - Tematizzazione per categorizzazione “Tramite regole”.....	180
Figura 195 - Schermata da QGIS del LoD3 categorizzato per tipologia di elementi..	180
Figura 196 - Schermata da QGIS del LoD4 categorizzato per tipologia di elementi. .	180
Figura 197 - Schermata da Revit 2018 del LoD3 (a sinistra) e del LoD4 (a destra). .	181
Figura 198 - Schermata da QGIS Master 3.7 del LoD3 (a sinistra) e del LoD4 (a destra).....	181

Indice delle tabelle

Tabella 1 - <i>Classificazione UNESCO dei beni culturali</i>	9
Tabella 2 - <i>Classificazione MIBACT dei beni culturali con integrazione di quella dell'ICCD</i>	10
Tabella 3 - <i>Classificazione francese dei beni culturali</i>	11
Tabella 4 - <i>Classificazione ResCult dei beni culturali</i>	13
Tabella 5 - <i>Classificazione UNESCO di rischi e pericoli</i>	14
Tabella 6 - <i>Classificazione CRED dei disastri naturali</i>	15
Tabella 7 - <i>Modello di dati INSPIRE e sua classificazione di rischi e pericoli</i>	15
Tabella 8 - <i>Classificazione ResCult di rischi e pericoli</i>	17
Tabella 9 - <i>Temi INSPIRE raggruppati nei tre allegati</i>	20
Tabella 10 - <i>Standard di classificazione per i cinque livelli di dettaglio</i>	22
Tabella 11 - <i>Competenze di ogni LoD</i>	22
Tabella 12 - <i>Rete operativa dell'EID di ResCult</i>	23
Tabella 13 - <i>Temi INSPIRE selezionati per il modello di dati ResCult</i>	24
Tabella 14 - <i>Tipologie di dato utilizzate per la memorizzazione nel database di ResCult</i>	47
Tabella 15 - <i>Suddivisione delle scale di lavoro nel caso di rilevamento archeologico</i>	53
Tabella 16 - <i>Esempio di compilazione della monografia del vertice 1000</i>	57
Tabella 17 - <i>Specifiche tecniche del Kaarta Stencil</i>	64
Tabella 18 - <i>Specifiche tecniche del GeoSLAM ZEB-REVO</i>	65
Tabella 19 - <i>Specifiche tecniche della camera Nikon D800E</i>	69
Tabella 20 - <i>Specifiche tecniche della camera Nikon Coolpix P1</i>	70
Tabella 21 - <i>Specifiche tecniche del dispositivo iPad mini 4</i>	71
Tabella 22 - <i>Specifiche tecniche del mini drone DJI Spark</i>	72
Tabella 23 - <i>Specifiche tecniche del drone DJI Phantom 4 Pro</i>	73
Tabella 24 - <i>Specifiche tecniche del laser scanner FARO Focus 3D MS 120</i>	83
Tabella 25 - <i>Specifiche tecniche del laser scanner FARO Focus X330</i>	85
Tabella 26 - <i>Specifiche tecniche dell'Imaging Laser Scanner Leica BLK360</i>	88
Tabella 27 - <i>Specifiche tecniche dello strumento GoPro Fusion</i>	90
Tabella 28 - <i>Specifiche tecniche del drone DJI Mavic Pro</i>	92
Tabella 29 - <i>Report dei risultati ottenuti per il calcolo della rete GNSS</i>	103
Tabella 30 - <i>Report dei risultati ottenuti per i punti acquisiti con tecnica RTK</i>	105

Tabella 31 - <i>Confronto tra le coordinate dei capisaldi prima (su sfondo giallo) e dopo (su sfondo verde) la compensazione della rete.</i>	107
Tabella 32 - <i>Potenzialità di un software BIM come Revit (a sinistra); potenzialità del software FME (a destra).</i>	149

Introduzione

Nella nostra società il patrimonio culturale costituisce un elemento chiave della valorizzazione di un luogo e della relativa popolazione.

Col termine patrimonio si vuole alludere al valore economico attribuito ai beni culturali che lo compongono, in ragione del loro pregio storico, culturale ed estetico, ma si vuole anche indicare l'esistenza di una normativa che riguarda la loro valorizzazione e tutela giuridica.

Il patrimonio culturale rappresenta una realtà dinamica, in perenne ampliamento e potrebbe essere schematizzata come un insieme aperto di cui vengono a far parte i ritrovamenti e le continue acquisizioni di dati e materiali, nonché le sperimentazioni artistiche espressive dei nostri tempi o del passato. La tutela dei beni che lo compongono, assume un'importanza ancor più evidente se si sottolinea la loro unicità e irripetibilità.

I disastri naturali, qualora si dovessero manifestare, costituiscono una seria minaccia per tali beni culturali e potrebbero causare danni permanenti o la distruzione di intere aree, così come inadeguate operazioni di emergenza. Nasce da ciò l'esigenza di ridurre i rischi legati ai disastri esistenti e di evitarne la creazione di nuovi, che potrebbero entrambi compromettere un bene, sia esso mobile o immobile.

In questa ottica si pone il “*Sendai Framework for Disaster Risk Reduction (2015-2030)*”, nonché il “*Quadro di Riferimento di Sendai per la riduzione del rischio di catastrofi (2015-2030)*”.

Si tratta di un documento internazionale adottato dagli Stati membri delle Nazioni Unite nel Marzo 2015 alla Conferenza mondiale, tenutasi a Sendai in Giappone, sulla riduzione dei rischi di catastrofi e sulla realizzazione della resilienza rispetto ai disastri, con un nuovo senso di urgenza nel contesto dello sviluppo sostenibile.

Con il termine *resilienza* si intende la capacità di un sistema, comunità o società esposta a rischi, di resistere, assorbire, adattarsi e riprendersi dagli effetti di un pericolo, in modo tempestivo ed efficiente, anche attraverso la conservazione e il ripristino delle sue strutture essenziali di base e delle sue funzioni.

Il Quadro di Riferimento di Sendai è un accordo quindicennale volontario non vincolante, che riconosce allo Stato il ruolo principale di ridurre il rischio di catastrofi, oltre che in termini di perdite di vite umane, nei mezzi di sussistenza, nella salute e nei

beni economici, fisici, sociali, culturali e ambientali di persone, imprese, comunità e paesi. Tale responsabilità è da condividere con governo locale, settore privato e altre parti interessate.

È stato approvato dall'Assemblea generale delle Nazioni Unite nel Giugno 2015 e rappresenta l'accordo successivo al Quadro di Azione di Hyogo, relativo alla costruzione della resilienza delle Nazioni e delle Comunità ai Disastri (2005-2015), che è stato finora l'accordo internazionale più onnicomprensivo sulla riduzione del rischio di catastrofi.

Uno dei progressi più importanti da raggiungere è passare dalla gestione dei disastri allo sviluppo di una strategia di riduzione del rischio di catastrofi secondo i principi del Quadro.

Sono necessari sforzi a tutti i livelli, dal locale al globale, pertanto i ministeri della cultura, le autorità locali e gli altri attori pertinenti, dovrebbero essere coinvolti in prima persona e cooperare al fine di migliorare i processi decisionali, la prevenzione e gli investimenti pubblici e privati. Occorre quindi includere il rischio di catastrofi nel bilancio e nei piani di lavoro a medio e lungo termine.

In questo modo le persone responsabili dei siti culturali manterrebbero scambi regolari sulle loro iniziative per la resilienza alle catastrofi o richiederebbero direttamente competenze specifiche.

La presente tesi vuole porsi come un ulteriore passo in avanti, proponendo il progetto ResCult [vedasi Cap. 1] come implementazione del Quadro di Riferimento di Sendai.

Nell'ottica di migliorare la risposta specifica da fornire quando il patrimonio culturale è interessato, ResCult presuppone che la raccolta di dati sui danni stessi e i rischi di catastrofi connessi al bene considerato, possano contribuire alla prevenzione e mitigazione degli impatti dei disastri sui siti di beni culturali.

Pertanto il progetto ResCult propone la creazione della prima banca dati europea interoperabile [vedasi Cap. 2], integrata per i beni culturali e progettata per fornire un quadro di riferimento europeo unico e comune per Protezione Civile, ministeri nazionali, Unione europea, autorità locali e così via.

Non si tratta solo di registrare le perdite, ma di combinare all'interno di questo *database* i dati precedenti e successivi al disastro, con lo scopo di identificare azioni e investimenti su misura per migliorare sia le capacità di prevenzione che quelle di resilienza.

Occorre dunque definire una rappresentazione unica sia per i beni culturali che per i rischi, in modo tale che possano essere condivisi tra le diverse parti interessate e consentire loro la diretta popolazione del DB attraverso interfaccia Web.

Per garantire un'efficace interoperabilità, è necessario utilizzare modelli standard esistenti per dati e mappe, che siano in grado di definire un linguaggio comprensibile a livello internazionale.

A tale proposito sono stati analizzati quattro standard internazionali di mappatura e si è scelto di selezionare i due che presentavano maggiore completezza e consentissero aggiornamenti e possibilità di estensioni future: INSPIRE, obbligatorio dal 2020, e CityGML.

Una criticità del modello di dati INSPIRE è legata alla complessità del linguaggio utilizzato e alla necessità di conoscerne il funzionamento. Occorre inoltre sottolineare che i modelli di dati internazionali esistenti sono nati per applicazioni di mappatura e non sono in grado di contenere dati spaziali a un livello di dettaglio idoneo per la descrizione dei beni culturali. Da qui nasce la volontà di offrire rappresentazioni multiscala e multirisoluzione correlate ai diversi livelli di analisi.

Data la crescente necessità di informazioni geo-spaziali, dati satellitari e cartografici, il progetto ResCult ha proposto di superare tale inconveniente, studiando tre esempi di beni culturali situati in luoghi diversi e distinti per caratteristiche fisiche e storiche; avendo a disposizione varie tipologie di documentazioni storico cartografiche, si è proceduto al rilievo di soli due casi studio [vedasi Cap. 3] e alla restituzione di tutti e tre [vedasi Capp. 4 e 5], fornendo come risultato finale una modellazione tridimensionale importabile in *software* compatibili col popolamento del *database*, quali Revit, ArcScene, PostgreSQL e QGIS.

Il sondaggio metrico è stato fatto utilizzando un'ampia gamma di tecniche, tra cui GPS/GNSS, LiDAR, ZEB-REVO scanner, fotogrammetria terrestre e aerea; sono stati considerati sia beni immobili che beni mobili.

Il fine è fornire uno strumento che consenta di trovare e riconoscere in maniera più immediata le opere disperse e facilitare un eventuale restauro post-emergenza, preservando così una memoria digitale in caso di distruzione.

Nella presente tesi si elencano pertanto le attività svolte per ogni caso studio, partendo dal primo che riguarda il Museo Preistorico di Quinson nell'alta Provenza, che contiene una grande quantità di collezioni di arredi archeologici risalenti al Paleolitico, al Neolitico e all'età del Bronzo. Tra tutti gli oggetti in esso contenuto, ne sono stati scelti

due, anch'essi ricostruiti tridimensionalmente. Il secondo caso studio è il Convento di San Nicola a Tolentino, nelle Marche, che conserva numerose opere d'arte risalenti al XIV fino al XVII secolo e che ha risentito dei danni dovuti al sisma del 2016.

Infine è stato scelto di modellare con *software* Revit la Chiesa di Santa Maria dei Miracoli, situata nel Comune di Venezia, risalente al '400 e particolarmente vulnerabile ai rischi di origine idrologica. Si è giunti fino all'ultimo livello di dettaglio (LoD4), riguardante la modellazione degli interni, seguendo la rappresentazione multiscala CityGML. L'approccio BIM¹ applicato al bene culturale, noto anche con l'acronimo HBIM², ha consentito di associare alle geometrie delle informazioni in forma di attributi. Tali informazioni sono state inserite secondo tre diverse modalità e si è cercata una soluzione sia per la conversione dei formati di dati dall'HBIM al GIS, sia per la conservazione dei dati stessi.

A tale proposito sono state sperimentate le funzionalità offerte dal *software* FME, che consente conversioni tra centinaia di formati di dati, garantendo l'interoperabilità tra diverse applicazioni.

Successivamente è stato dunque possibile testare la procedura per il popolamento del *database* interoperabile europeo implementato [vedasi Cap. 6], e valutare l'interoperabilità con il GIS 3D.

¹ BIM: *Building Information Modeling*.

² HBIM: *Heritage o Historic Building Information Modeling*.

1. Il progetto ResCult

L'acronimo ResCult deriva da “*Increasing RESilience of CULTural Heritage*”.

Si tratta di un progetto che è entrato a far parte dell'iniziativa “Anno europeo del patrimonio culturale 2018” ed è stato finanziato dall'Unione Europea, in particolare modo dalla DG-ECHO, la Direzione generale per la Protezione Civile e le operazioni di aiuto umanitario europee [Fig. 1].

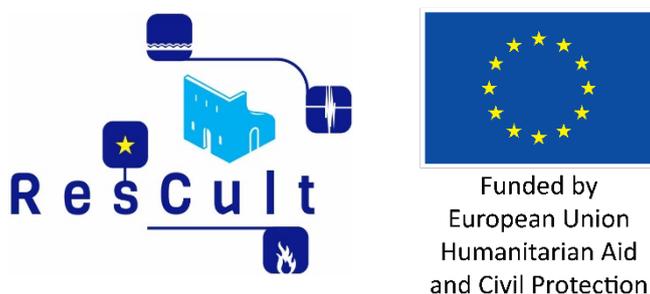


Figura 1 - Progetto ResCult finanziato dalla Commissione Europea.

Gli enti di protezione e gestione dei beni culturali, gli operatori di emergenza, i cittadini e le comunità locali, le autorità governative e i centri di ricerca costituiscono i beneficiari di tale progetto che vede coinvolti diversi *partner* [Fig. 2]:

- UNISDR, Ufficio delle Nazioni Unite per la Riduzione dei Rischi di Catastrofi;
- TUB, Università Tecnica di Berlino;
- POLITO, Politecnico di Torino;
- SITI, Istituto Superiore sui Sistemi Territoriali per l'Innovazione, di cui Massimo Migliorini è il coordinatore di progetto;
- SDIS 04, Servizio Dipartimentale Antincendio e Salvataggio delle Alpi dell'Alta Provenza;
- CORILA, Consorzio per la Gestione delle Attività di Ricerca nel Sistema Lagunare di Venezia;
- IUAV, Università Internazionale di Venezia (*partner* affiliato).



Figura 2 - Partners coinvolti nel progetto ResCult.

ResCult è un progetto che nasce dalla volontà di risolvere o quantomeno ridurre un problema che interessa molteplici discipline e che riguarda la resilienza dei beni culturali nei confronti dei disastri e la conseguente necessità di incrementarne la protezione.

L'insufficiente conoscenza delle risorse, l'incapacità di valutare i costi reali di perdita e danno, la difficoltà nell'assegnare un valore economico ai beni culturali, costituiscono i motivi per cui la gestione del patrimonio culturale risulta ancora inefficiente. Inoltre le strategie da attuare per la protezione del patrimonio culturale sono diverse da un paese all'altro.

Questo progetto europeo si pone pertanto come strumento decisionale di supporto per la salvaguardia dei beni culturali e propone l'implementazione di un "Database Interoperabile Europeo" (EID) geo-referenziato, contenente norme, ontologie, formati di dati e *query*, che possa fornire un quadro unico armonizzato e utilizzabile da tutti gli enti coinvolti.

Un fornitore di *software* commerciale nel campo della gestione dei dati delle opere d'arte, Decalog, ha inoltre dichiarato il proprio supporto per l'approccio del progetto ResCult e ha implementato un modulo di interfaccia che consentisse al suo *software* di interagire con l'EID.

Ciò garantisce il superamento dei problemi di compatibilità tra EID e i diversi formati utilizzati nei *database* esistenti, consente una maggiore condivisione delle informazioni, l'interoperabilità dei protocolli, la diffusione di linee guida (*best practices*) e l'allineamento con le politiche e gli standard seguiti dagli stati membri dell'UE e

permette a Organi e operatori della gestione delle emergenze, di capire, prevenire e mitigare in prima persona i disastri che colpiscono un bene culturale.

Un ulteriore obiettivo che il progetto ResCult si pone è il miglioramento della strategia di riduzione del rischio di catastrofi per la prevenzione e la resilienza, seguendo i principi del Quadro di Sendai.

Elemento chiave su cui si basa il progetto sono le quattro priorità d'azione stabilite dal Quadro, le quali verranno attuate sia a livello locale che globale:

1. Comprendere il rischio di catastrofi;
2. Rafforzare la governance della riduzione del rischio di catastrofi;
3. Investire nella riduzione del rischio di catastrofi per la resilienza;
4. Migliorare la preparazione alle catastrofi per una risposta efficace e “ricostruire meglio” quanto perso a danno avvenuto.

Occorre sottolineare che il Quadro di Sendai riconosce il valore non semplicemente della conservazione del patrimonio culturale, ma anche del suo ampio valore economico e sociale, e che l'EID di ResCult è attualmente l'unico modello di dati che incorpora gli indicatori C6 sviluppati dall'UNISDR per monitorare l'implementazione dell'accordo quindicennale.

Pertanto è l'unico che supporta la segnalazione di tutti i governi partecipanti sui loro progressi nel raggiungimento degli obiettivi del Quadro.

Una visione a livello europeo è essenziale per facilitare la cooperazione e la condivisione della conoscenza tra i paesi europei, contribuisce a combinare le risorse e a prevenire e mitigare gli impatti dai disastri naturali sui beni culturali.

In tale ottica la banca dati di ResCult comprende al suo interno non solo l'elenco completo dei siti a rischio, inclusi i dati critici relativi all'esposizione e alla vulnerabilità, ma anche il resoconto sistematico delle perdite di disastro.

1.1 Il Forum Utenti

Numerosi esperti in diverse discipline sono stati riuniti e convocati al primo Forum Utenti di ResCult tenutosi nel Novembre del 2017 a Venezia, al fine di compilare un questionario che avrebbe consentito la successiva attribuzione di pesi ai vari indicatori necessari per la valutazione di tre tipi di rischio associati a un bene culturale: sisma, alluvione e incendio.

Tra i vari esperti si riconoscono le seguenti entità:

- Dipartimento della Protezione Civile italiana;
- E-RIHS, *European Research Infrastructure for Heritage Science*;
- UNISDR, *United Nations International Strategy for Disaster Reduction*;
- CERHER, *Centre of Resilience on Heritage*;
- Segreteria regionale del MiBACT per il Veneto;
- Dipartimento della Protezione Civile della Regione Marche.

La compilazione del questionario ha permesso di individuare l'aspetto più vulnerabile di un bene culturale e lo scenario da adottare nel caso di accadimento di un evento estremo.

E' in quest'ottica che ci si è posti per l'applicazione della stessa analisi multicriteri ai vari casi studio considerati.

Come prospettiva futura si voleva presentare il questionario a un più ampio gruppo multidisciplinare di esperti [Fig. 3], al fine di sviluppare ulteriori analisi nel campo della valutazione del rischio ed è per questo che si è prevista una piattaforma *online* in cui gli utenti riconosciuti come "pro", quali tecnici, decisori e altre parti interessate possono contribuire all'analisi di rischio fornendo le proprie valutazioni.

La maggiore partecipazione può infatti fornire una ulteriore validazione dei risultati.

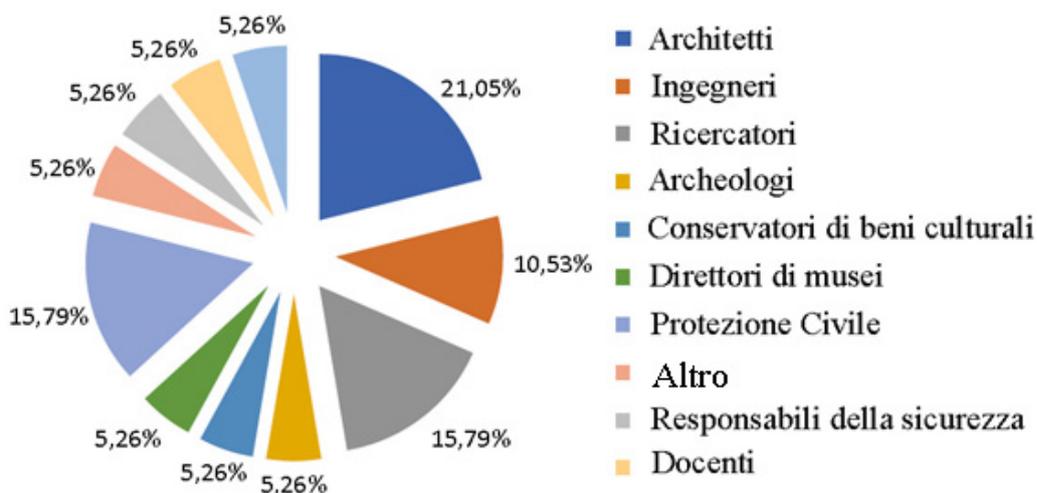


Figura 3 - Percentuale di esperti coinvolti al primo Forum Utenti.

Nella stessa occasione, il gruppo eterogeneo di esperti ha potuto esprimere le proprie opinioni e fornire suggerimenti in merito a come perfezionare l'EID di ResCult.

Si riportano di seguito i quattro *feedback* di cui si è fatto tesoro:

1. Il *database* interoperabile europeo può svolgere un ruolo decisivo per valutare meglio le perdite economiche correlate al patrimonio culturale e causate da catastrofi. Questo aspetto è alla base del processo di monitoraggio proposto nel Quadro di Sendai e deve porsi come elemento chiave del presente progetto, al fine di consentire una più approfondita conoscenza del rischio e dei processi decisionali. Inoltre, la struttura dell'EID dovrebbe includere gli indicatori di rischio relativi alle perdite correlate al disastro così come descritti nel Quadro, in quanto fondamentali per stabilire l'impatto dei disastri naturali sui beni culturali.
2. Il piano di sviluppo dell'EID deve includere una strategia per assicurare la raccolta di dati dopo aver testato le diverse fasi di progetto condotte per i tre casi studio. È necessario creare incentivi per le autorità locali, nazionali e culturali, nonché per i gestori dei siti culturali al fine di coinvolgerli nell'adottare questo sistema.
3. Il sistema deve consentire l'integrazione di dati da fonti diverse. A tale proposito la rete ResCult deve essere compatibile col *software* Flora, ben stabilito nei musei e con lo standard Joconde. Al fine di ottenere una trasformazione automatizzata tra il formato Joconde e ResCult, occorre prendere in considerazione la collaborazione con Decalog, una società di *software* che implementa banche dati per i beni culturali in Francia.
4. Infine l'EID deve includere dati sulle mostre temporanee e dovrebbe essere disponibile non solo agli operatori che si occupano di emergenze ma anche alle autorità decisionali.

1.2 Verso la progettazione dell'EID: standard per l'interoperabilità

L'EID di ResCult si configura come uno strumento che fornisce servizi Web ed è composto da sette diversi elementi: un *database* e sei interfacce di seguito elencate [Fig. 4].

1. Mappa del patrimonio europeo;
2. Archivio delle informazioni relative ai disastri;
3. Modelli 3D;
4. Analisi di rischio;

5. Esempi di buone pratiche;

6. Popolamento del *database*.

Il *database* europeo interoperabile deve essere pertanto visibile, accessibile e utilizzabile da tutti.

In questo modo il suo adempimento sarà più facile per tutti gli utenti, i dati possono essere condivisi a livello europeo, e su queste basi potrebbe essere prodotta una mappa dei rischi, con una simbologia standard per tutti gli stati membri.

Qualunque utente, una volta autenticato potrà interagire con le sei interfacce e fornire ulteriori dati utili al popolamento del *database* o consultare quelli esistenti [Fig. 4].

Occorre sottolineare che gli utenti verranno distinti a seconda della loro qualifica e avranno accesso ad aree di informazioni via via più dettagliate; dovranno inoltre possedere un PC sul quale dovrà essere installato Quantum GIS, un *software open source*, e dovrà essere attivata la connessione internet per poter accedere al *server* di ResCult e poter creare nome utente e *password*.

Si riporti di seguito il *link* alla *dashboard* con le sei interfacce: <https://www.rescult-project.eu/database/>.

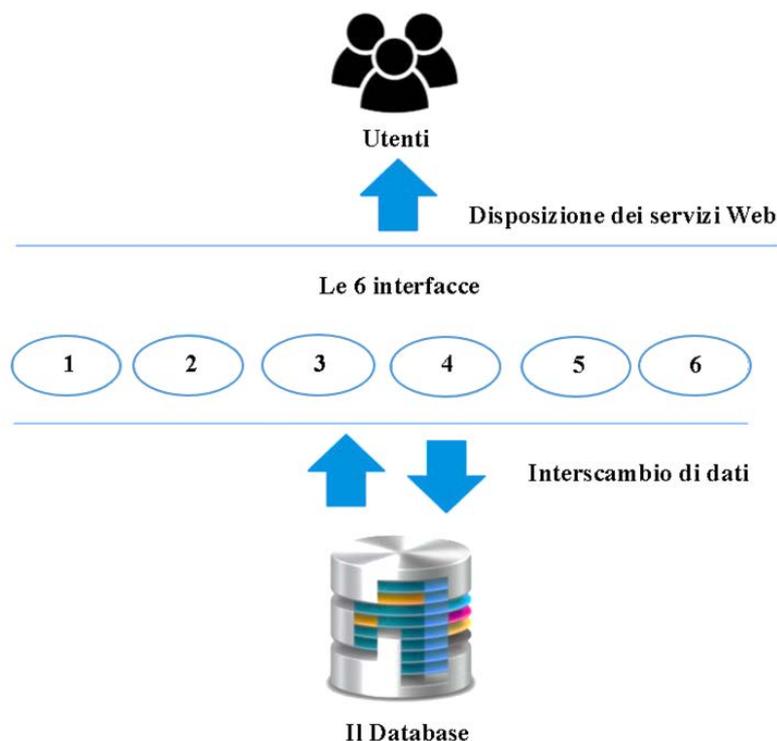


Figura 4 - Struttura dell'EID e interazione con gli utenti.

L'implementazione dell'EID è utile in quanto mira a uniformare diversi standard a livello nazionale e internazionale in merito alla classificazione dei beni culturali; la sua struttura prevede inoltre un'estensione del modello di dati INSPIRE per i beni culturali.

Il *database* di ResCult vuole porsi come strumento per ospitare diversi tipi di patrimonio culturale: tangibili³, intangibili⁴, mobili⁵, immobili⁶, ma anche parti strutturali del bene considerato, oppure un patrimonio culturale all'interno di un altro, come per esempio un'opera d'arte all'interno di un museo, o ancora un'area estesa, come un paesaggio naturale.

Il tutto può essere memorizzato e rappresentato correttamente secondo una scala progressivamente dettagliata basata sui LOD, nonché "*Level Of Detail*", così come proposta da CityGML.

Data la creazione di una libreria di script SQL, è inoltre possibile integrare automaticamente nell'EID altri *dataset* esistenti sul patrimonio culturale, dopo averli esportati in formato Excel.

Ciò risolve gli eventuali problemi di incompatibilità tra *database* esistenti e linguaggi diversi utilizzati per la loro composizione.

Per quanto riguarda l'implementazione del *database*, il gruppo di Geomatica del Politecnico di Torino, si è occupato della sua progettazione e del successivo popolamento, effettuando modellazioni tridimensionali dei tre casi studio. Organizzazioni e associazioni quali per esempio Lega Ambiente, SIFET, Associazione

³ I beni tangibili o materiali sono tutti quelli che hanno una forma definita e stabile, come per esempio quadri, statue, architetture, reperti archeologici e così via.

Fonte: http://www.francescomorante.it/catalogazione/beni_culturali.pdf.

⁴ I beni intangibili o immateriali sono tutti quelli che hanno una forma definita e stabile, ma esistono solo nel momento che avvengono, come per esempio feste e riti religiosi, rappresentazioni popolari, cerimonie folkloristiche e così via.

Fonte: http://www.francescomorante.it/catalogazione/beni_culturali.pdf.

⁵ I beni mobili sono quelli che possono essere spostati da un luogo all'altro senza comprometterne l'integrità.

Fonte: http://www.francescomorante.it/catalogazione/beni_culturali.pdf.

⁶ I beni immobili sono quelli che non possono essere spostati dal luogo sul quale sorgono. In questa categoria rientra tutto ciò che è architettura e urbanistica, nonché tutto ciò che è strutturalmente connesso a esso, ma anche aree archeologiche e beni paesaggistici.

Fonte: http://www.francescomorante.it/catalogazione/beni_culturali.pdf.

Culturale ATHENA hanno potuto contribuire alla fornitura di dati 2D, mentre i partecipanti del Forum Utenti e i partners di ResCult hanno come obiettivo la procura di documenti, *link*, indicatori di rischio, foto, “*best practices*”, ecc.

1.2.1 La rappresentazione dei beni culturali

La modellazione del *database* di ResCult parte dall’analisi dei diversi sistemi di catalogazione dei beni culturali adottati a livello nazionale e internazionale nei paesi partner del progetto, ossia Europa, Italia, Francia e Germania, al fine di giungere a una classificazione unificata del patrimonio culturale.

Si è pertanto tenuto conto dei seguenti standard esistenti:

- UNESCO per la classificazione del patrimonio culturale a livello internazionale e a livello nazionale in Germania;
- MIBACT, SigecWeb per la catalogazione dei beni culturali a livello nazionale in Italia;
- JOCONDE per la classificazione del patrimonio culturale a livello nazionale in Francia;

Nello scenario europeo, l’UNESCO, Organizzazione delle Nazioni Unite per l’Educazione, la Scienza e la Cultura, ha illustrato la propria classificazione dei beni culturali nel Convegno concernente la “Protezione del Patrimonio Culturale e Naturale Mondiale” tenutosi nel 1972.

In tale occasione ha proposto una suddivisione nei seguenti temi: “Monumenti”, “Gruppi di edifici” e “Siti”.

Trattandosi di una classificazione di qualche anno fa e non sufficientemente aggiornata, l’EID di ResCult ha integrato definizioni più recenti indicate nei documenti dell’UNESCO, introducendo il concetto di “Paesaggio culturale” e di “Beni culturali intangibili”, esplicitati in Tabella 1.

In Italia per la classificazione del patrimonio culturale si fa riferimento al **MIBACT**, Ministero dei Beni e delle Attività Culturali, che comprende diverse catalogazioni al suo interno.

L’ICCD, Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, ha implementato una piattaforma Web aperta, SigecWeb (Sistema Informativo Generale del Catalogo) per la raccolta dati e ha incluso un ulteriore sistema di classificazione: Cultura Italia.

L'ISCR, Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro utilizza invece un SIT, Sistema Informativo Territoriale, disponibile su piattaforma Web e contenente la Carta del Rischio, una mappa che rappresenta i beni culturali come punti geo-referenziati, sulla base di due fattori di rischio, quali la vulnerabilità e la pericolosità territoriale.

Questo archivio è meno recente del primo e il suo più grande limite sta nel fatto che pochi beni culturali sono referenziati sulla mappa.

VIR, Vincoli In Rete, è un progetto realizzato dall'ISCR orientato allo sviluppo di servizi dedicati a qualsiasi tipo di utente, per la consulenza e la gestione dei documenti di protezione del patrimonio culturale.

I dati utilizzati sono tratti dalle altre banche dati MiBACT:

- PaBAAC, Direzione Generale Belle Arti, Architettura e Arte Contemporanea, classifica il patrimonio culturale protetto ed è già inclusa nel sistema di catalogazione ICCD.
- BeAP, Direzione Generale delle Belle arti e del Paesaggio, gestisce il SITAP (Sistema Informativo Territoriale Ambiente e Paesaggio) della mappa geo-referenziata del Web, dove sono definiti i "vincoli" correlati ai beni culturali.

Il sistema di catalogazione ICCD è il più recente in Italia e spesso contiene anche i valori delle precedenti classificazioni. Pertanto il *database* di ResCult si basa su di esso per la classificazione a livello italiano del patrimonio culturale e considera diversi ambiti, indicati in Tabella 2.

UNESCO	1972	Monumenti	Opere architettoniche
			Opere di scultura e pittura monumentale
			Elementi o strutture di natura archeologica
		Gruppi di edifici	Iscrizioni, abitazioni rupestri
			Gruppi di edifici separati o connessi
			Siti
	Aree che includono siti archeologici		
	1992	Paesaggio culturale	
	2003	Beni culturali intangibili	Tradizioni orali
			Arti dello spettacolo
Pratiche sociali			
Rituali			
Eventi festivi			
Conoscenza e abilità per produrre artigianato tradizionale			
Conoscenza e pratiche riguardanti la natura e l'universo			

Tabella 1 - Classificazione UNESCO dei beni culturali.

MIBACT		
ICCD	Archeologico	Reperti antropologici
		Siti archeologici
		Monumenti archeologici
		Reperti archeologici
		Test stratigrafici
		Materiali archeologici
	Architettonico e Paesaggistico	Architettura
		Nuclei storici
		Parchi / Giardini
	Fotografico	Foto
		Collezioni fotografiche
	Musicale	Strumenti musicali
	Naturalistico	Botanica
Mineralogia		
Paleontologia		
Zoologia		
Scientifico e Tecnologico		
Storico e Artistico	Disegni	
	Figure incise	
	Opere d'arte / arte contemporanea	
	Impronte	
	Costumi antichi / contemporanei	
Demo - Etno - Antropologico		

Tabella 2 - Classificazione MIBACT dei beni culturali con integrazione di quella dell'ICCD.

In Francia, la classificazione dei beni culturali differisce notevolmente dal sistema italiano MiBACT.

Il Ministero della Cultura (*Ministère Culture Communication*) comprende al suo interno il Dipartimento di Architettura e Patrimonio, il quale si occupa dell'inventario dei beni culturali, dei monumenti storici e della biblioteca multimediale.

Il *database* di catalogazione è organizzato secondo il seguente principio [Tab. 3]:

- Architetture, indicato col termine “*Mérimée*”: elenca gli edifici in cui possono essere conservate le opere mobili studiate nel *database* “*Palissy*”;
- Arredi, “*Palissy*”: riporta tutti gli oggetti mobili, il cui edificio di conservazione può essere studiato nel *database* “*Mérimée*”;
- Immagini, “*Memoria*”: contiene immagini fisse, alcune delle quali illustrano le opere dei due *database* precedentemente delineati;

- Bibliografia, “Archidoc”: comprende record bibliografici che possono essere correlati agli archivi di “Mérimée” e “Palissy”.

Vi si può accedere mediante sito Web.

Ministère Culture Communication	Architetture	"Mérimée"
	Arredi	"Palissy"
	Immagini	"Memoria"
	Bibliografia	"Archidoc"

Tabella 3 – Classificazione francese dei beni culturali.

In Francia esiste anche il *database* di Joconde, un inventario digitale delle opere dei musei nazionali che catalogano il patrimonio culturale mobile. Al giorno d’oggi, l’unico standard disponibile per musei e opere d’arte è il CIDOC CRM, ma non è dichiarato se è usato per il sistema Joconde.

In Germania sono le **Istituzioni Federali** che hanno il compito di proteggere i beni culturali da eventuali rischi e pericoli.

Il *Beaufragten der Bundesregierung für Kultur und Medien* (BKM), Commissario del Governo Federale per la Cultura e i Media, costituisce la massima autorità federale nel settore culturale.

In caso di emergenza, ci si rivolge al *Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe* (BBK), Ufficio Federale della Protezione Civile e Assistenza in caso di calamità, disponibile 24 ore su 24, 7 giorni su 7.

La *Bundesanstalt Technisches Hilfswerk* (THW), Agenzia Federale per l’Assistenza Tecnica, protegge i beni culturali adottando diverse misure tecniche in relazione alla richiesta delle autorità.

Pertanto, in Germania non esiste un sistema di classificazione dei beni culturali, ma solo una normativa da seguire, che illustra regole per la corretta conservazione, il restauro e la protezione del patrimonio culturale.

Ogni regione tedesca è responsabile del proprio patrimonio culturale e in maniera indipendente riempie un elenco dei più importanti monumenti, insieme ad alcune informazioni principalmente collegate alla loro gestione, come per esempio numero di telefono, proprietà, ecc.

Tuttavia, non sono inclusi nei *database*, né descritti attraverso fogli di catalogazione; pertanto per la rappresentazione dei monumenti tedeschi, si adotta la classificazione UNESCO, la stessa utilizzata per la rappresentazione nell'EID di ResCult [Fig. 5].



Figura 5 - Integrazione delle classificazioni a livello nazionale e internazionale.

La classificazione ResCult dei beni culturali è pertanto il risultato dell'integrazione delle catalogazioni precedentemente illustrate [Tab. 4].

CULTURALE
Archeologico
Reperti antropologici
Siti archeologici
Monumenti archeologici
Reperti archeologici
Test stratigrafici
Materiali archeologici

Architettonico	
	Architetture
Opere di scultura e pittura monumentale	
Paesaggio culturale	
	Gruppi di edifici separati o connessi
	Nuclei storici
	Parchi / Giardini
	Opere combinate della natura e del genere umano
Beni culturali intangibili	
	Tradizioni orali
	Arti dello spettacolo
	Pratiche sociali
	Rituali
	Eventi festivi
	Conoscenza e abilità per produrre artigianato tradizionale
	Conoscenza e pratiche riguardanti la natura e l'universo
Demo - Etno - Antropologico	
	Bibliografia
Fotografico	
	Immagini
	Foto
	Collezioni fotografiche
Musicale	
	Strumenti musicali
Scientifico e Tecnologico	
Storico e Artistico	
	Disegni
	Figure incise
	Opere d'arte / arte contemporanea
	Impronte
	Costumi antichi / contemporanei
Arredi	
Collezioni	
NATURALISTICO	
Formazioni geologiche e fisiologiche	
	Mineralogia
Siti naturali	
Botanica	
Paleontologia	
Zoologia	

Tabella 4 - Classificazione ResCult dei beni culturali. In azzurro: classificazione MiBACT. In nero: classificazione UNESCO; in rosso: classificazione del Ministère Culture Communication.

Le scritte in azzurro corrispondono alla classificazione MiBACT, quelle in nero alla suddivisione dettata dall'UNESCO, mentre quelle in rosso alla catalogazione francese [Tab. 4].

1.2.2 La rappresentazione di rischi e pericoli

Al fine di implementare un *database* unico europeo interoperabile, occorre considerare anche alcuni standard esistenti sulla classificazione di rischi e pericoli e sulla prevenzione e gestione.

Nel 2009 l'UNISDR ha definito il rischio come prodotto tra due fattori: l'impatto del pericolo e la sua probabilità di accadimento.

Nel 2010, in un articolo intitolato "Gestione dei rischi per i disastri per il patrimonio mondiale", l'UNESCO ha proposto una catalogazione delle tipologie di pericolo [Tab. 5].

Al 2009 risale anche un'ulteriore distinzione tra i vari tipi di rischi naturali, proposta dal Centro per la Ricerca sull'Epidemiologia dei Disastri (CRED), *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters*, il quale ha brevettato un *database* sugli eventi di emergenza (EM-DAT), un *database* mondiale sui disastri [Tab. 6].

Nel modello di dati INSPIRE viene proposta una suddivisione dei disastri naturali coerente con quella CRED [Tab. 7].

	Naturali	Artificiali	Indiretti / Secondari
Metereologici	Uragani Fulmini Forti precipitazioni		Inondazioni (coste / fiumi) Incendi Movimento delle placche
Idrologici (causati da forti piogge)	Frane improvvise dovute a inondazioni, cenere vulcanica, lava, ecc.	Guasto infrastrutturale idrologico (dighe, argini, serbatoi, sistemi di drenaggio); Guasto di protezione costiera	Inquinamento di malattie epidemiche
Vulcanici	Flussi di lava Flussi piroclastici Caduta di cenere e massi Gas sprigionati	Indotto da attività minerarie	Colate di fango Frane Tsunami Incendi
Sismico	Movimento transitorio Deformazioni permanenti Movimenti indotti	Indotto da movimento di massa Indotto da attività minerarie Indotto da esplosioni	Movimento delle placche Incendi Inondazioni
Movimento di massa (di neve, ghiaccio, roccia, fango, ecc) indotto dall'erosione ad azione lenta o da uno dei precedenti	Cascate Croli Slittamenti Flussi	Cumuli di scorie instabili / rifiuti di costruzione	

Tabella 5 - Classificazione UNESCO di rischi e pericoli.

DISASTRI NATURALI			
Biologici	Geofisici	Idrologici	Metereologici
Epidemico Malattia infettiva virale Malattia infettiva da batteri Malattia infettiva da parassiti Malattia infettiva da funghi Infestazione da insetti Fuga di animali	Sisma Vulcano Movimento di placche Caduta di massi Frane Valanghe Cedimenti	Inondazioni Alluvione Alluvione improvvisa Tempesta / Inondazione costiera Movimento di placche Caduta di massi Frane Valanghe Cedimenti	Tempesta Ciclone tropicale Ciclone extra-tropicale Tempesta locale
		Idro - Metereologici	Climatologici Temperature estreme Ondata di caldo Ondata di freddo Condizioni invernali estreme Siccità Incendio violento Incendio forestale Incendio del terreno

Tabella 6 - Classificazione CRED dei disastri naturali.

NaturalRiskOrHazardClassification	
Definizione: Questa classe fornisce informazioni sulla natura del rischio o pericolo naturale.	
Tipologia: Dato	
Attributo:	
Nome: riskOrHazardCategory Definizione: Una classificazione generica dei tipi di rischi o rischi naturali. Annullabile: Falso Molteplicità: 1 Tipo di valore: HazardCategoryValue (lista di codici)	
Valori:	
1_biological	Pericoli causati dall'esposizione di organismi viventi a germi e sostanze tossiche. [CRED] Epidemie, infestazioni di insetti e fughe di animali sono rischi o pericoli biologici.
1_1_Epidemic	
1_2_InsectInfestation	
1_3_AnimalStampede	
2_geophysical	
2_1_Earthquake	
2_2_Volcano	
2_3_DryMassMovement	
3_hydrological	Pericoli derivanti da deviazioni nel normale ciclo dell'acqua e / o fuoriuscita di masse d'acqua causati dal vento [CRED]. L'alluvione e il movimento delle masse bagnate sono rischi o pericoli idrologici.
3_1_Flood	
3_2WetMassMovement	
4_meteorological	Pericoli causati da processi atmosferici di breve durata / da piccola a media scala (nello spettro da minuti a giorni) [CRED].
4_1_Storm	
5_climatological	Rischi causati da processi di lunga durata / da media a grande scala (con variabilità del clima intra stagionale fino a multi decadale) [CRED]. Temperature estreme, siccità e incendi sono rischi o pericoli climatologici.
5_1_ExtremeTemperature	
5_2_Drought	
5_3_Wildfire	
6_extraterrestrial	Pericoli provenienti da fonti non terrestri. I corpi di una fonte extraterrestre che si scontrano con la terra o la sua atmosfera sono pericoli extraterrestri.
6_1_Meteorite_Asteroid	
Attributo:	
Nome: specificRiskOrHazardType Definizione: Una classificazione del rischio naturale o del pericolo secondo una nomenclatura specifica per questo set di dati. Annullabile: Vero Molteplicità: 1 Tipo di valore: SpecificRiskOrHazardTypeValue (lista di codici)	

Tabella 7 – Modello di dati INSPIRE e sua classificazione di rischi e pericoli.

La classificazione ResCult dei rischi e dei pericoli deriva dalle precedenti classificazioni analizzate e include disastri naturali e tecnologici [Tab. 8].

Tuttavia per il momento i tre casi studio sono stati analizzati nei confronti di tre soli pericoli, quali sisma, incendio e alluvione.

NATURALE	
Geofisico	
Sisma	Movimento del terreno
	Tsunami
Movimento delle placche	Caduta di massi
	Frane
Attività vulcanica	Caduta di cenere
	Lava
	Flusso piroclastico
	Caduta di lava
Meteorologico	
Temperature estreme	Ondata di freddo
	Ondata di caldo
	Condizioni invernali estreme
Nebbia	
Tempesta	Ciclone extra-tropicale
	Ciclone tropicale
	Tempesta locale
Idrologico	
Alluvione	Inondazione costiera
	Inondazione fluviale
	Alluvione improvvisa
	Inondazione di ghiaccio
Frane	Valanga (neve, detriti, fango, caduta di massi)
Azione delle onde	Onda anomala
Climatico	
Siccità	
Scioglimento lago di ghiaccio	
Incendio violento	Incendio forestale
	Incendio del terreno

Biologico	
Epidemia	Malattia infettiva virale
	Malattia infettiva da batteri
	Malattia infettiva da parassiti
	Malattia infettiva da funghi
Infestazione da insetti	Cavalletta
Attacco animale	
Extraterrestre	
Impatto	Esplosione
Tempo nello spazio	Particelle energetiche
	Tempesta geomagnetica
	Onda d'urto
TECNOLOGICO	
Incidente industriale	
	Fuoriuscita di sostanze chimiche
	Collasso
	Esplosione
	Incendio
	Perdita di gas
	Avvelenamento
	Fuoriuscita di olio
	Altro
Incidente di trasporto	
	Nel cielo
	Per strada
	Su binari
	In acqua
Incidente vario	
	Collasso
	Esplosione
	Incendio
	Altro

Tabella 8 - Classificazione ResCult di rischi e pericoli.

1.2.3 La rappresentazione di oggetti cartografici

Le informazioni contenute nel *database* di ResCult devono poter essere rappresentate e visibili su mappa.

Occorre dunque conoscere come si caratterizzano il contesto urbano e il paesaggio in cui è ubicato un bene. A tale proposito, per la realizzazione di infrastrutture di dati territoriali a livello internazionale, sono stati studiati quattro standard internazionali di mappatura [Fig. 6]:

- **ISO TC211 - Informazioni geografiche / Geomatica**

Standardizzazione nel campo delle informazioni geografiche digitali, al fine di supportare il processo decisionale. Tali informazioni risultano pertanto correlate alla posizione relativa alla Terra;

- **OGC - Open Geospatial Consortium**

Organizzazione internazionale *no profit* impegnata a creare standard aperti di qualità per la comunità geo-spaziale globale. Gli standard sono realizzati attraverso un processo di consenso e usufruibili da chiunque;

- **Direttiva europea INSPIRE - Infrastruttura per l'informazione territoriale in Europa**

Mira alla creazione e implementazione di un'infrastruttura di informazioni territoriali utili per l'elaborazione di politiche comunitarie. Dunque, nel modello di dati INSPIRE, oltre alle entità cartografiche necessarie per mappare il terreno, sono presenti entità correlate al rischio, al pericolo e alla necessità di proteggere alcune aree specifiche;

- **CityGML - Geography Markup Language**

E' un modello di dati standardizzato aperto utilizzato per lo scambio di dati e per l'archivio di modelli tridimensionali di città e paesaggi.

È implementato come schema di applicazione per GML3, *Geography Markup Language*, versione 3.1.1, ed è uno standard internazionale che si basa sui concetti dell'OGC e dell'ISO TC211.



Figura 6 - Standard internazionali di mappatura. Cerchiati i due utilizzati: INSPIRE e CityGML.

Dato che INSPIRE risulta obbligatorio dal 2020, mentre CityGML si pone di giungere a una definizione comune di entità, attributi e relazioni, si è scelto quest'ultimo per la modellazione degli edifici 3D in INSPIRE.

Ciò consente non solo la condivisione a livello europeo dei dati, ma anche l'eventuale produzione di una mappa dei rischi con simbologia standard per tutti gli Stati membri. Pertanto, partendo dallo studio degli standard esistenti in merito alla rappresentazione del terreno, si può giungere alla modellazione dell'EID di ResCult, il quale può essere considerato come un'estensione del modello di dati INSPIRE [Fig. 7].

Rappresentazione del terreno: analisi degli standard esistenti.

Standard di mappatura utilizzati.

EID di ResCult.



Figura 7 - Flusso di lavoro.

Ciò che differenzia lo standard INSPIRE da CityGML è il livello di dettaglio che intendono raggiungere.

CityGML mira a rappresentare oggetti urbani in scala fino all'1:500, al fine di garantire una corretta gestione delle città virtuali tridimensionali, mentre INSPIRE si limita a livelli di dettaglio inferiori.

Poiché il modello di dati INSPIRE costituirà la base da estendere per la definizione del *database* di ResCult, si è partiti dal considerare i suoi temi cartografici, i quali risultano organizzati in tre diversi allegati [Tab. 9].

Tali temi sono spesso sostituiti con le classi CityGML, soprattutto per quanto riguarda l'oggetto cartografico che rappresenta l'entità culturale da proteggere.

Nella Tab. 9 sono evidenziati i tre temi cui si è fatto riferimento per la successiva modellazione dell'EID di ResCult.

Nel tema dei dati "Sito protetto" si intende includere i luoghi che presentano una vulnerabilità specifica e come tali, essendo connessi a un bene culturale, devono essere protetti.

La modellazione degli edifici 3D viene effettuata con CityGML e il tutto è inserito nel tema “Edifici” di INSPIRE, al fine di garantire un’armonizzazione tra le due specifiche. Dato che l’obiettivo della Direttiva INSPIRE è quello di proteggere l’ambiente, nel tema “Zona a rischio naturale” sono rappresentati solo i rischi naturali.

Allegato I (Nucleo essenziale del DB)	Allegato II (Descrizione morfologia terreno)	Allegato III (Elementi naturali o artificiali collegati alla terra)
Indirizzi	EL (Elevazione)	AC-MF (condizioni atmosferiche - caratteristiche geologiche meteorologiche)
Unità amministrative	GE (Geologia)	BU (Edifici)
Particelle catastali	LC (Copertura del suolo)	AF (Strutture agricole e di acquacoltura)
Sistemi di riferimento coordinati	OI (Ortofoto)	AM (Restrizione e regolamentazione della gestione delle aree)
Latitudine e longitudine		BR (Regioni biogeografiche)
Nomi geografici		EF (Strutture di monitoraggio ambientale)
Idrografia		ER (Risorse energetiche)
Sito protetto		HB (Habitat e biotopi)
Reti di trasporto		HH (Salute umana - sicurezza)
		LU (Uso del suolo)
		MR (Risorse minerarie)
		NZ (Zona a rischio naturale)
		OF (Caratteristica geografica oceanografica)
		PD (Distribuzione della popolazione - demografia)

Tabella 9 - Temi INSPIRE raggruppati nei tre allegati. Evidenziati quelli utilizzati nell’EID di ResCult.

L’EID di ResCult vuole porsi come implementazione della presente Direttiva e includere dati relativi alla gestione di rischi e pericoli derivanti da altri tipi di fenomeni e attività, come per esempio quelli causati dall’operato dell’uomo o quelli legati all’ambito tecnologico.

Inoltre in CityGML si possono associare diverse geometrie allo stesso oggetto, in modo da avere una rappresentazione multipla, che può essere basata su diverse epoche, diverse ipotesi di costruzione o diversi livelli di dettaglio.

Pertanto una città o un paesaggio possono essere rappresentati in maniera più o meno dettagliata a seconda della scala cui fa riferimento il livello di dettaglio auspicato.

Il concetto dei livelli di dettaglio, “*Level of Detail*” (LoD) è stato sfruttato per la progettazione del *database* interoperabile europeo, in quanto avrebbe consentito diversi livelli di scala nell’analisi dei dati e sarebbe potuto risultare utile in caso di emergenza o durante le fasi di ripresa post-disastro.

Per la modellazione multiscala degli edifici 3D, CityGML⁷ distingue i livelli di dettaglio numerandoli da zero a quattro [Fig. 8]:

- LoD 0: si limita alla rappresentazione in due dimensioni degli edifici;
- LoD 1: modella l’edificio considerandolo come un blocco tridimensionale, con tetto piano non modellato;
- LoD 2: viene inclusa la modellazione tridimensionale delle coperture;
- LoD 3: rappresenta in 3D anche i dettagli esterni del tetto e le aperture, quali porte e finestre;
- LoD 4: si arriva alla modellazione degli interni.

Quest’ultimo viene utilizzato per scale di rappresentazione 1:1000 fino all’1:500, la massima consentita per la gestione delle mappe sui centri storici delle città, ma l’accuratezza raggiunta è in genere quella associata alla scala 1:1000, per cui 0,2 m.



Figura 8 - Livelli di dettaglio previsti in CityGML.

Fonte: F. Chiabrando, E. Colucci, A. Lingua, F. Matrone, F. Noardo, A. Spanò, “*A European Interoperable Database (EID) To Increase Resilience Of Cultural Heritage*”.

⁷ Lo standard CityGML 2.0 di *Open Geospatial Consortium* (2012) definisce cinque LOD. Il concetto è destinato a diverse classi tematiche di oggetti, ma è principalmente incentrato sugli edifici, e le cinque istanze descritte aumentano nella loro complessità geometrica e semantica.

I cinque LOD sono stati ampiamente adottati nell'industria dei GIS 3D e ora descrivono anche la qualità di progettazione di un modello di città 3D, in particolare il suo aspetto geometrico. Pertanto hanno acquisito importanza anche nelle comunità di *computer grafica* e BIM.

Fonte: Biljecki, F., Ledoux, H., Stoter, J. (2016): “An improved LOD specification for 3D building models”. *Computers, Environment, and Urban Systems*, vol. 59, pp. 25-37.

Si riportano di seguito due tabelle riassuntive su ciò che compete a ogni LoD [Tabb. 10 e 11].

Standard di classificazione	LoD 0	LoD 1	LoD 2	LoD 3	LoD 4
CityGML	Regionale, paesaggio	Città, regione	Quartieri di città, progetti	Modelli architettonici (esterni), punti di riferimento	Modelli architettonici (interni)
Trasposizione CityGML per ResCult	Area	Edificio (esterno)	Edificio (interno)	Opere d'arte (numero/tipologia)	Opere d'arte (caratteristiche)
UNESCO	Luogo	Monumento		Musei con opere d'arte	

Tabella 10 - Standard di classificazione per i cinque livelli di dettaglio.

CityGML	LoD 0	LoD 1	LoD 2	LoD 3	LoD 4
Classe di accuratezza	La più bassa	Bassa	Media	Alta	Molto alta
Precisione assoluta del punto 3D (posizione / altezza)	Più bassa del LoD1	5/5 m	2/2 m	0,5/0,5 m	0,2/0,2 m
Generalizzazione	Massimale: 2D	Oggetti 3D: no tetti	Oggetti 3D con tetti	Oggetti 3D con aperture	Oggetti 3D con interni

Tabella 11 - Competenze di ogni LoD.

1.3 Il *database*: propositi e risultati

Integrare le classificazioni nazionali e internazionali esistenti è necessario per poter inserire dati spaziali armonizzati nelle mappe ResCult e garantire un'interoperabilità efficace dei *database* esistenti.

Ciò potrà fornire un quadro unico agli operatori della Protezione Civile e alle autorità internazionali impegnate nel settore dei beni culturali, e fungere da strumento decisionale di supporto per comprendere il rischio di danni connessi al patrimonio culturale in caso di calamità naturali, nonché il relativo impatto sulla coesione sociale, sul turismo culturale sostenibile e sull'impegno con le comunità locali nella protezione dell'ambiente.

A tale proposito, il progetto si pone di avere a disposizione una modellazione tridimensionale degli elementi architettonici del patrimonio culturale e collegare le sue caratteristiche geometriche ai meccanismi di danno.

Per dimostrare il funzionamento del *database* progettato, si sono valutati tre casi studio e a seguito di operazioni preliminari si è proceduto alla loro modellazione 3D.

La progettazione dell'EID si basa sullo studio degli standard esistenti a livello nazionale e internazionale in merito alla rappresentazione dei beni culturali, di rischi e pericoli e di oggetti cartografici.

Considerando la Direttiva INSPIRE del 2011 e le norme sui meccanismi di danno utilizzate per l'analisi strutturale, ci si è mossi verso l'ottenimento di un'interoperabilità efficace tra dati semantici e geometrici. Sulla base dei meccanismi di danno esistenti, si è studiata una rappresentazione efficace dei beni culturali e la conseguente trasposizione nel modello di dati. In sintesi, i beni culturali sono stati suddivisi in beni tangibili e intangibili, mobili e immobili, e per la loro rappresentazione, ogni singolo bene culturale è stato suddiviso a sua volta in un insieme di macro elementi ed elementi che potessero essere connessi ai meccanismi di danno.

Per quanto riguarda i rischi, si è effettuata una distinzione tra disastri naturali e disastri legati all'operato dell'uomo; tra i primi si sono considerati i rischi legati all'incendio, al sisma e alle inondazioni. Non si è pertanto tenuto conto delle classificazioni esistenti a livello nazionale e internazionale in merito ai rischi e ai pericoli; questo rappresenta uno dei limiti che il progetto ResCult auspica di superare.

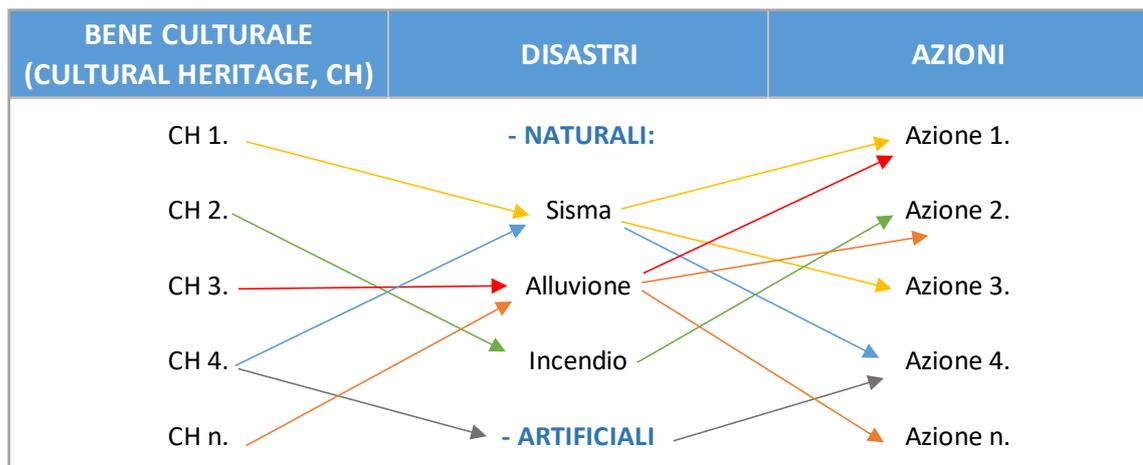


Tabella 12 - Rete operativa dell'EID di ResCult.

Il risultato finale del progetto è dunque una vera e propria rete operativa, in cui a ogni bene è associato un certo rischio e in relazione a quest'ultimo verranno proposte diverse strategie di azione da adottare, al fine di ridurre il rischio di catastrofi e di migliorare la resilienza del bene stesso [Tab. 12].

1.3.1 Estensione del modello di dati INSPIRE

Il modello di dati INSPIRE basato sul linguaggio UML organizza diversi temi in tre allegati. Tra tutti ResCult si pone di considerarne tre, quali “Sito protetto”, “Edifici” e “Zona a rischio naturale” e di estenderne i contenuti rendendoli conformi ai vari standard esistenti [Tab. 13].

Allegato I (Nucleo essenziale del DB)	Allegato III (Elementi naturali o artificiali collegati alla terra)
Sito protetto	BU (Edifici) NZ (Zona a rischio naturale)

Tabella 13 - Temi INSPIRE selezionati per il modello di dati ResCult.

L'estensione dei contenuti geometrici e semantici si basa su connessioni reciproche tra i vari temi.

Occorre sottolineare che trattandosi di un progetto europeo, le entità e gli attributi saranno indicati in lingua inglese.

- Il tema “Sito protetto” sarà indicato nell'EID del progetto col termine “*Protected Site*”, mentre il tema “*Cultural Entity*” presente esclusivamente nel *database* di ResCult sarà connesso a “*Protected Site*” ereditandone gli attributi. Il bene culturale è infatti da considerare un luogo da proteggere;
- Il tema “Edifici” diventa “*Buildings or cartographic object*”, ossia “Edifici o oggetti cartografici” ed erediterà gli attributi di “*Cultural Entity*” e conseguentemente anche di “*Protected Site*”;

- Il tema “NZ (Zona a rischio naturale)” sarà sostituito dal tema “*Hazard Risk*”, che elenca i rischi e i pericoli dovuti alla natura e non all’operato dell’uomo. Nel nostro caso avremo sisma, incendio e alluvione.

Tre sono le relazioni previste tra “*Cultural Entity*” e “*Building or cartographic object*”:

- Relazione “*is – a*”, per indicare che qualsiasi oggetto cartografico rappresenta un bene culturale da proteggere;
- Relazione “*contains*”, utilizzata nel caso in cui non è il bene culturale a dover essere protetto, ma qualsiasi bene in esso contenuto;
- Relazione “*emergency storage*” per indicare un deposito di emergenza, ossia il luogo in cui spostare gli oggetti da proteggere in caso di emergenza o a seguito di un avvenuto disastro.

Tali relazioni possono esistere simultaneamente, per cui un edificio può presentare un alto valore architettonico, ospitare al suo interno beni altrettanto pregiati e ospitarne ulteriori in caso di emergenza connessa ad altri luoghi.

Partendo dalla struttura del modello di dati INSPIRE, in ResCult sono stati aggiunti alcuni attributi, in modo da poterli utilizzare nelle analisi di valutazione di rischi e pericoli, o per archiviare i risultati di tali analisi e renderli immediatamente disponibili agli operatori che gestiscono la salvaguardia del patrimonio culturale; altri dati sono invece diventati più complessi.

Una prima estensione ha riguardato la classificazione del patrimonio culturale, per cui nel tema “*Protected Site*” sono state integrate le classificazioni a livello nazionale e internazionale esposte nel paragrafo 1.2.1.

Allo stesso modo si è proceduto nel tema “*Hazard Risk*”, aggiungendo gli standard descritti nel paragrafo 1.2.2.

Per studiare più nel dettaglio la struttura del *database* di ResCult, si rimanda al capitolo 2, in cui partendo dall’analisi del mondo reale, si giunge alla sua semplificazione in un modello esterno, alla conseguente formalizzazione in un modello concettuale e schematizzazione nel modello logico; da quest’ultimo si potrà successivamente realizzare un modello interno, nonché traduzione del modello logico in linguaggio macchina.

1.4 Interazione con le sei interfacce

Per interagire con l'EID, sono state definite sei diverse interfacce disponibili via Web. Qualsiasi utente che abbia eseguito la registrazione del proprio *account*, può accedere alla *dashboard* che mostra le sei funzionalità principali [Fig. 9].

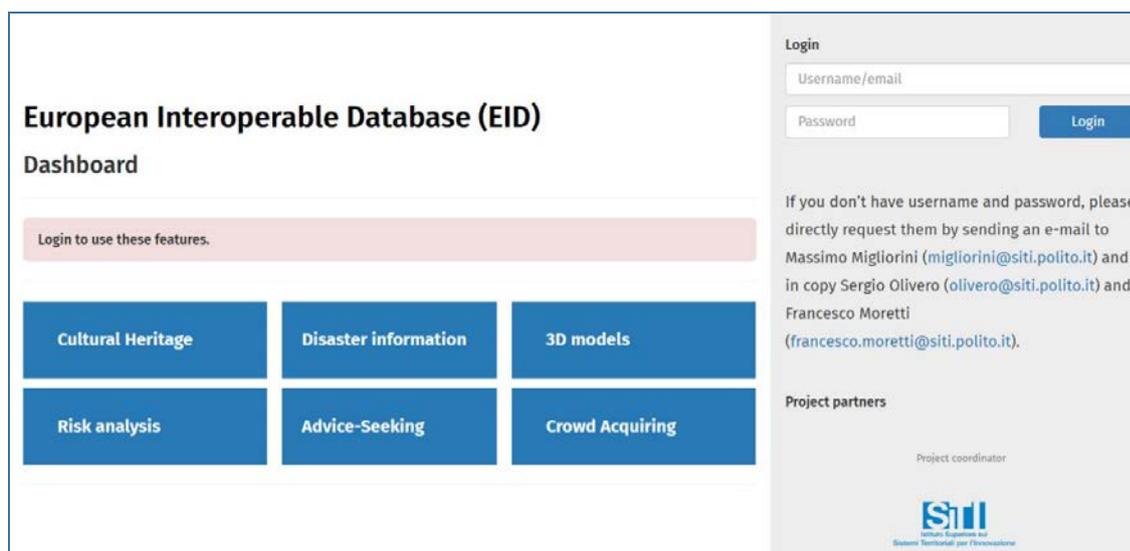


Figura 9 - Schermata via Web per accedere alle sei interfacce dell'EID di ResCult.

Fonte: <https://www.rescult-project.eu/database/>.

La presente schermata è visualizzabile al seguente *link*: <https://www.rescult-project.eu/database/>.

Ogni pulsante in blu di Fig. 9 consente di accedere alla relativa interfaccia.

Occorre che gli utenti registrati abbiano installato sul proprio PC il *software* Quantum GIS, un *software open source* disponibile al *link* di seguito riportato: <https://www.qgis.org/it/site/forusers/download.html>.

Una volta aperto QGIS è possibile seguire le istruzioni per connettere il *software* col *database* di ResCult e visualizzare tutte le informazioni in esso contenute.

Si riporta di seguito una breve descrizione delle sei interfacce previste.

1.4.1 Mappa del patrimonio europeo – *Cultural Heritage*

E' richiesta la sua progettazione, comprendendo banche dati esistenti sul patrimonio culturale e considerando gli standard utilizzati per la condivisione di dati geo-spaziali.

Tale mappa sarà pertanto una rappresentazione cartografica che dovrà contenere tutte le informazioni sul bene considerato, come per esempio la sua classificazione, la sua ubicazione, il suo valore economico, i materiali di cui è costituito, vulnerabilità, ecc.

Il tutto è visualizzabile secondo lo standard di mappatura di CityGML basato sui livelli di dettaglio [Figg. 10 e 11]. Una dimostrazione di come sia possibile visualizzare la stessa città in tre dimensioni scegliendo progressivi livelli di dettaglio è disponibile al seguente *link*: <https://www.youtube.com/watch?v=kAcwCM4sT-0>.



Figura 10 - Esempio di visualizzazione secondo il LoD1.

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=kAcwCM4sT-0>.

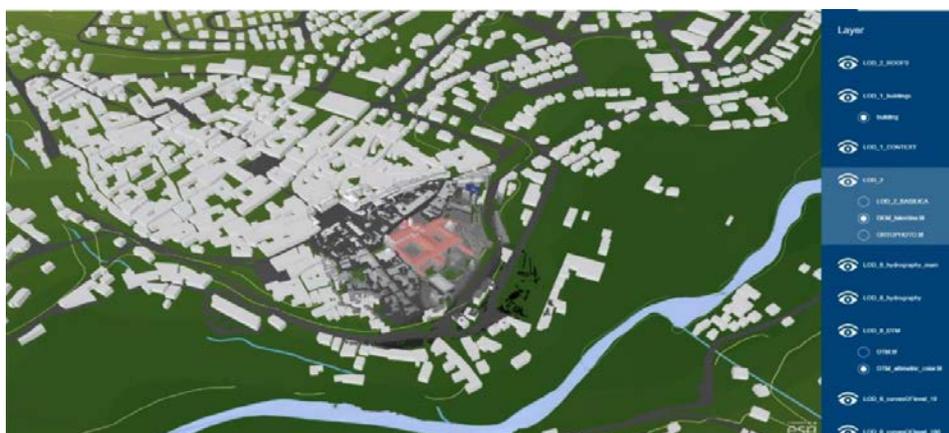


Figura 11 - Esempio di visualizzazione secondo il LoD2.

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=kAcwCM4sT-0>.

1.4.2 Archivio delle informazioni relative ai disastri – *Disaster Information*

Si tratta di un catasto sui disastri accaduti, in cui sono condivise le informazioni sui pericoli naturali, con particolare attenzione a sismi, incendi e alluvioni; sono inoltre inclusi gli indicatori C6 previsti dal Quadro di Sendai. Questa interfaccia consente di selezionare i tipi di disastro che si vogliono visualizzare [Figg. 12 e 13].

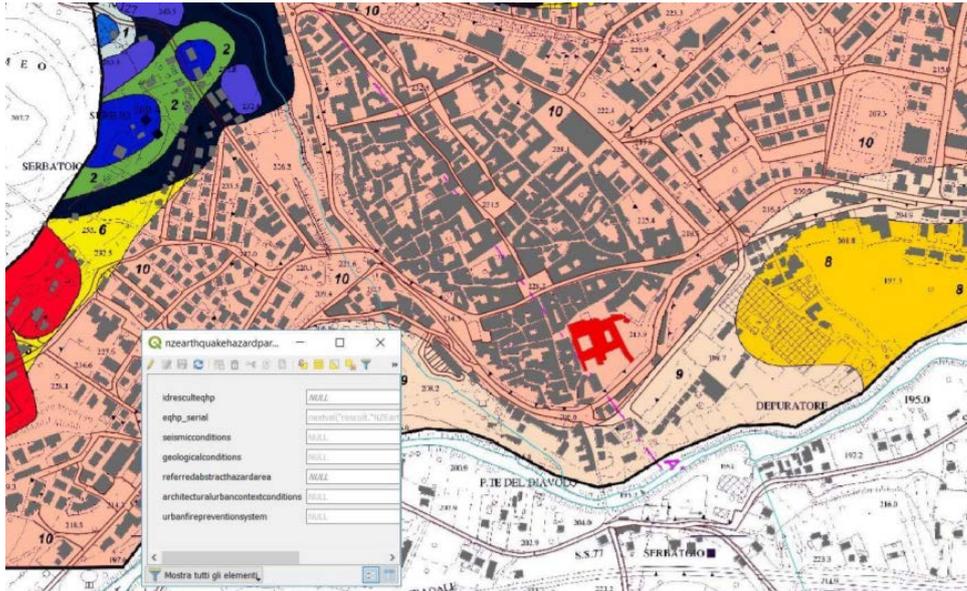


Figura 12 - Esempio di microzonazione sismica, rappresentazione spaziale.

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=kAcwCM4sT-0>.



Figura 13 - Esempio di microzonazione sismica, rappresentazione puntuale.

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=kAcwCM4sT-0>.

1.4.3 Modelli 3D – 3D Models

I modelli tridimensionali acquisiti da un'indagine multiscala 3D con diversi livelli di dettaglio, possono aiutare a trovare opere d'arte o riconoscere quelle disperse durante l'accadimento di un disastro, risultano utili per sostenere il restauro post emergenza e preservare la “memoria digitale” in caso di distruzione o danneggiamento;

Pertanto possono essere utilizzati per alimentare scenari di realtà virtuale e rendere il patrimonio culturale accessibile a tutti i cittadini.

Per la visualizzazione dei modelli è stata collegata all'EID di ResCult una piattaforma Web *open source*, 3DHOP, 3D Heritage Online Presenter, la quale consente di svolgere svariate funzioni, tra cui l'integrazione di punti focali (*Hotspot*) con informazioni aggiuntive, lo spostamento delle luci, sezioni aeree, trasversali e longitudinali, ecc. [Fig. 14].

Una dimostrazione delle potenzialità di tale visualizzatore è illustrata nel video a cui è possibile accedere cliccando sul *link* che segue: <https://www.youtube.com/watch?v=yMTNWuXZbUg>.

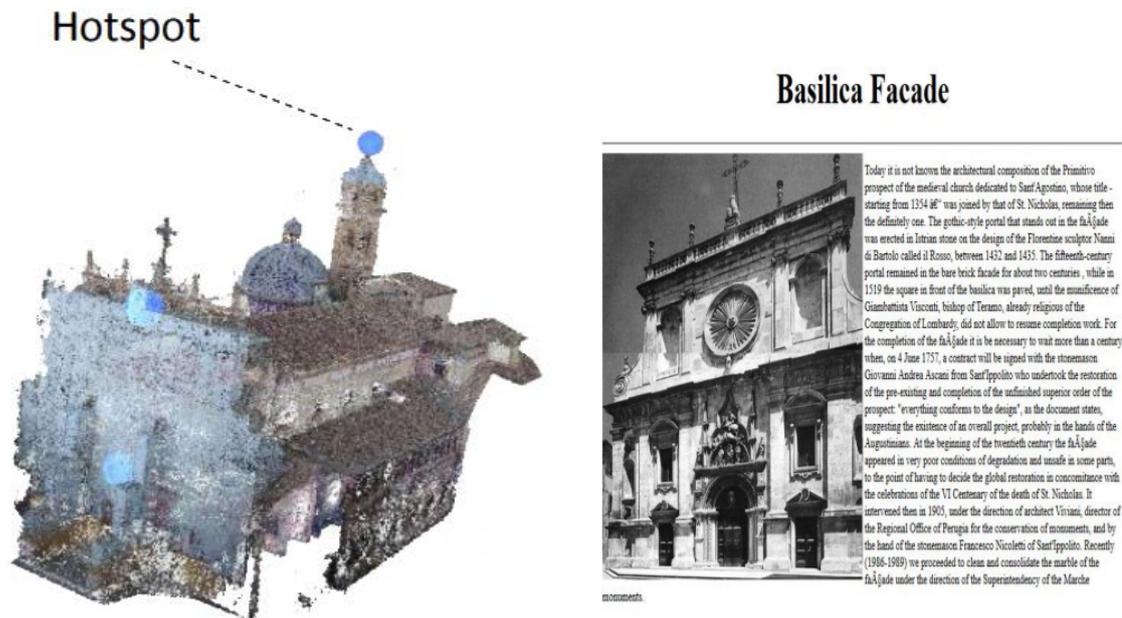


Figura 14 - Esempio di informazione aggiuntiva tramite la funzione “Hotspot” nel caso studio di Tolentino.

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=yMTNWuXZbUg>.

1.4.4 Analisi di rischio – *Risk Analysis*

Si basa sulla creazione di una piattaforma per il monitoraggio e la modellazione degli scenari di rischio, al fine di visualizzarne gli indicatori relativi ai diversi tipi di minacce e consentire la produzione di mappe di rischio.

Obiettivo è pertanto quello di fornire un'analisi multicriteri dettagliata sulle vulnerabilità del patrimonio culturale in relazione ai rischi naturali, in modo da poter scegliere il tipo di disastro e gli indicatori di rischio a esso correlati.

Per eseguire l'analisi dei rischi è possibile accedere a due diversi metodi:

- AREC, “*Asset Risk Evaluation Cards*”, ossia “Carte di valutazione del rischio connesso al bene”, utilizzato nel caso di beni culturali immobili [Fig. 15];
- MASA, “*Methods of Analysis for Safeguarding Artworks*”, ossia “Metodi di analisi per la salvaguardia delle opere d'arte”, nel caso di beni mobili.



Figura 15 - Risultati del metodo AREC applicati al caso studio di Venezia.

Fonte: <https://rescult-project.eu/european-interoperable-database/risk-analysis/>.

1.4.5 Esempi di buone pratiche – *Advice - Seeking*

Un’interfaccia per la ricerca di consigli, condivisione di buone pratiche, per scenari di disastri specifici, al fine di migliorare le capacità della Protezione Civile di mitigare gli impatti dei disastri sui beni culturali. Per ogni “*Best Practice*” l’EID può riportare una descrizione dettagliata e collegarvi ulteriore materiale disponibile sul Web, compreso un tipo di disastro specifico [Fig. 16].

The screenshot shows the 'Best practice' submission form on the ResCult website. The form is titled 'Best practice' and includes the following fields and sections:

- Title:** A single-line text input field.
- Keywords:** A multi-line text input field with the instruction 'Maximum 4 keywords, comma-separated'.
- Upload PDF document:** A section with the instruction 'Maximum file size 5 MB, allowed filetypes pdf'. It contains a file selection button labeled 'Durchsuchen...' and the text 'Keine Datei ausgewählt.'
- Internet link:** A single-line text input field, which is highlighted with a red border in the image.
- Submit:** A button at the bottom of the form.

Figura 16 - Schermata disponibile via Web per l’aggiunta di “*Best Practices*”.
 Fonte: <https://rescult-project.eu/european-interoperable-database/advice-seeking/>.

1.4.6 Popolamento del *database* – *Crowd Acquiring*

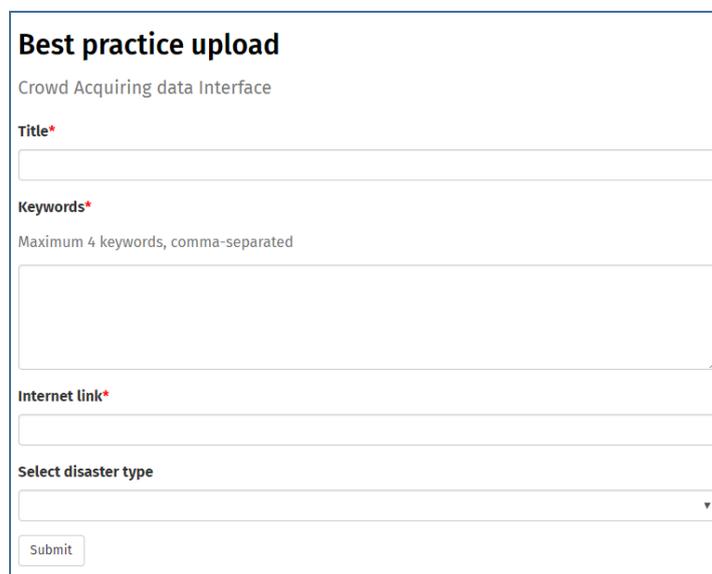
Si tratta di una piattaforma che consente a esperti e cittadini di riempire e arricchire il *database* di ResCult con nuovi dati e informazioni generali in merito a regole, vincoli e procedure di controllo.

È possibile eseguire tre diversi caricamenti [Figg. 17, 18 e 19]:

- Singolo patrimonio culturale (nome, tipo, ubicazione, ecc.);
- Singoli dati sulle migliori pratiche (disastro correlato, descrizione, collegamento URL, ecc.);
- *Database* dei beni culturali: è stata creata una libreria di script SQL per consentire l'integrazione automatica di *database* esterni nell'EID (a partire dall'esportazione del *file* Excel). Il caricamento è stato testato con tre *database*: EUROPEANA, JOCONDE e SIRPAC.

I dati sono associati a diversi livelli di “affidabilità”, a seconda dell'utente che effettua il caricamento.

Occorre sottolineare che tutti i dati caricati sono sottoposti a un filtro che ne consente la validazione prima di entrare a far parte del *database* di ResCult.



Best practice upload
Crowd Acquiring data Interface

Title*

Keywords*
Maximum 4 keywords, comma-separated

Internet link*

Select disaster type

Submit

Figura 17 - Schermata per l'upload di “Best Practices”.

Fonte: <https://rescult-project.eu/european-interoperable-database/crowd-acquiring/best-practice-upload/>.

Single cultural heritage upload

Crowd Acquiring data Interface

General info

Name

Category*

Immaterial ▼

Description

Add a short description

Add a short description

0 characters (140 max)

Further info

Add some curiosity or an in depth

Photo

Upload or drag the photo here

Scegli file

 Nessun file selezionato

Date

Creation

Renovation

Location

Address*

Click on the map for auto-compile the address and coordinates values

Address

*

Geocode?*

Latitude

*

Longitude

*

Zoom

*



Google Maps interface showing satellite view of Rome, Italy. Labels include MUNICIPIO ROMA I-IV, RIONE I MONTI, and landmarks like Musei Vaticani and Città del Vaticano.

Figura 18 - Schermata per l'upload di un bene culturale.

Fonte: <https://rescult-project.eu/european-interoperable-database/crowd-acquiring/single-cultural-heritage-upload/>.

Database upload

Crowd Acquiring data Interface

Title*

Format*

Upload excel document*

First download the corresponding format template

- EUROPEANA format template
- JOCONDE format template
- SIRPAC format template

Then upload using the following button.

Nessun file selezionato

Maximum file size 10 MB, allowed file types xls,.xlsx.

Figura 19 - Schermata per l'upload di un database.

Fonte: <https://rescult-project.eu/european-interoperable-database/crowd-acquiring/database-upload/>.

2. Progettazione e strutturazione dell'EID

Il presente capitolo riguarda la descrizione del *database* interoperabile europeo studiato e progettato per contenere qualsiasi informazione connessa ai beni culturali e ai rischi a essi associati.

Si tratta dunque di definire passo dopo passo i processi eseguiti in merito alla sua progettazione.

Per il conseguimento degli obiettivi prefissati, si è fatto riferimento ai *feedback* raccolti in occasione del primo Forum degli Utenti tenutosi a Venezia.

Il processo di progettazione consente di partire da un mondo complesso, la realtà percepita, giungendo fino alla sua implementazione in un linguaggio comprensibile al calcolatore; sono state eseguite una serie di semplificazioni in relazione all'applicazione da voler realizzare [Fig. 20].

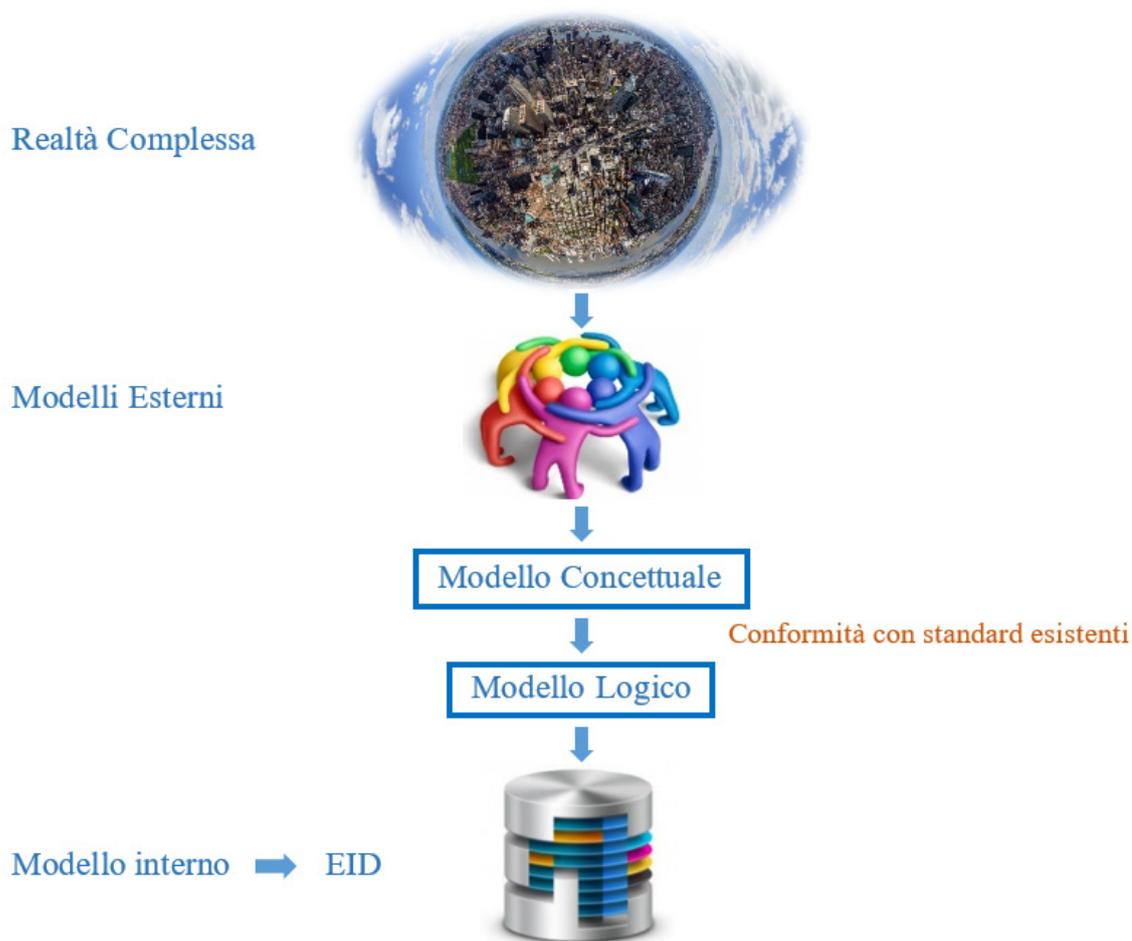


Figura 20 - Processi di progettazione dell'EID di ResCult.

Durante il primo livello di progettazione è prevista la realizzazione di un Modello Esterno, in cui vengono scelti gli oggetti della realtà da descrivere in maniera univoca, per i quali si vogliono archiviare informazioni nel modello di dati, si valutano le operazioni da svolgere e i dati necessari per descrivere gli oggetti; il Modello Esterno risulta dunque una semplificazione della realtà complessa [Fig. 20].

Il linguaggio utilizzato è ancora complicato per un calcolatore, per cui necessita di essere formalizzato, in modo da essere comprensibile a tutto il mondo, in un modo semplice e seguendo degli standard.

In questo progetto si prevede la definizione di più Modelli Esterni, interpretati da vari utenti e attori in base alle loro opinioni e necessità.

La successiva fase di progettazione prevede la definizione di un Modello Concettuale, il quale rappresenta una descrizione formale del Modello Esterno [Fig. 20], basata su regole semplici e ben definite.

Esso costituisce il Modello Entità - Relazioni, in cui sono distinte le varie entità, ognuna delle quali rappresenta un oggetto del mondo reale, di cui si vogliono registrare delle informazioni.

Le “Entità” sono dunque gli oggetti, con le relative proprietà, dette “Attributi”.

Durante questa fase è stata verificata l' idoneità del modello per utenti e attori.

Il linguaggio risulta ancora complicato per il calcolatore, seppure più semplice, mentre è comprensibile in tutto il mondo dai vari utenti ed esperti, per cui occorre schematizzarlo ulteriormente.

A tale proposito, segue dunque la definizione del Modello Logico [Fig. 20], mediante il quale si realizza una struttura di dati espressa in una forma utile all'elaboratore.

Si tratta di un Modello definito Relazionale, che si basa sulla memorizzazione dei dati espressi sotto forma di numeri, stringhe e identificatori, e che consente il loro reciproco collegamento attraverso *link*. E' dunque un insieme di *file* organizzati secondo regole molto ben definite.

L'ultima fase di progettazione riguarda la realizzazione del Modello Logico in un Modello Interno [Fig. 20], il quale rappresenta l'implementazione del *database* in un linguaggio di basso livello, comprensibile al calcolatore.

Tale linguaggio prevede l'utilizzo di *file*, numeri, stringhe, *byte* e *bit*, per cui generalmente gli utenti non visualizzano il presente modello. Quest'ultima fase è dunque elaborata dal DBMS, *Database Management System*, Sistema di Gestione di

Basi di Dati, al fine di consentire la creazione, la manipolazione e l'interrogazione efficiente del *database*.

Nel nostro caso il Modello Interno costituirà il risultato della realizzazione del mondo reale in ambiente QGIS e visualizzabile in 3DWebGIS.

Prendendo in considerazione gli standard necessari per garantire l'interoperabilità cui si auspica per l'EID di ResCult, è stata proposta un'armonizzazione di tutte le informazioni in un processo sequenziale logico.

La struttura dell'EID è stata studiata per essere conforme al modello di dati INSPIRE e per garantire la possibilità di ulteriori estensioni, riguardanti per esempio l'idrografia e i trasporti.

Sono inoltre stati inclusi gli indicatori C6 del Quadro di Sendai, più tutti quelli previsti dalle analisi di rischio svolte, le “*Best Practices*” e l'adattamento Joconde.

Nel presente *database* è anche possibile inserire dati *raster* utili per le analisi di rischio ed è stata predisposta una relazione esplicativa su ogni singolo indicatore.

2.1 Modelli Esterni

Nei Modelli Esterni viene effettuata una descrizione univoca degli elementi di rilievo della realtà scelti per l'archiviazione di informazioni nella base di dati.

Si riportano di seguito le quattro aree ontologiche in cui è possibile suddividere la struttura del *database*:

- *Protected Site*;
- *Building*;
- *Hazard and Risk*;
- *Possible Extensions*.

Il nome di ogni tabella inizia con un acronimo⁸ specifico, utile per comprendere la macro categoria di riferimento all'interno dell'EID. Tali acronimi risultano coerenti con il modello di dati della Direttiva INSPIRE.

⁸ PS: acronimo utilizzato per descrivere l'entità “*Protected Site*”;

BU: acronimo utilizzato per descrivere l'entità “*Building*”;

NZ: acronimo utilizzato per descrivere l'entità “*Hazard and Risk*”.

Per l'entità “*Possible Extensions*” si rimanda al paragrafo 2.1.4 della presente tesi.

2.1.1 *Protected Site*

L'entità "*Protected Site*", "Sito Protetto", indica l'insieme dei luoghi da dover proteggere per la salvaguardia di un determinato bene culturale. Questo è il motivo per cui risulta connessa col tema "*Cultural Entity*", "Bene Culturale", il quale eredita tutti gli attributi di "*Protected Site*".

I beni culturali potranno essere mobili, immobili, materiali (o tangibili) e immateriali (o intangibili).

Tutte le informazioni relative all'entità sopra descritta saranno indicate con l'acronimo "PS" e nel GIS saranno visualizzate come dati tabellari, nonché elenchi di attributi dipendenti dall'entità corrispondente. Nell'interfaccia Web denominata "*Cultural Heritage*" è possibile visualizzare i dati contenuti nella presente macro categoria. Per accedere alle interfacce si ricorda che è necessario procedere alla registrazione e autenticazione sul sito di ResCult, e installare sul PC che si intende utilizzare il *software open source* Quantum GIS.

2.1.2 *Building*

Il tema "*Building*", "Edificio", contiene tutte le informazioni relative alle entità edifici e costruzioni, le quali saranno indicate con l'acronimo "BU".

L'entità in questione rappresenta dunque la costruzione fisica relativa al patrimonio culturale e sarà costituita da dati vettoriali, nonché informazioni connesse alla geometria degli oggetti; tali dati possono riferirsi a uno o più patrimoni culturali o costituirne solo una parte.

La tabella di rappresentazione primaria viene indicata con il termine "*BUabstractConstruction*", la quale eredita gli attributi di tutte le entità a essa connesse: "*BUabstractInstallation*", "*BUbuildingPart*", "*BUabstractOtherConstruction*" e "*BUAbstractBuilding*".

Facendo riferimento al modello UML di INSPIRE, quest'ultima entità rappresenta a sua volta la risultante di altri temi, quali "*BuildingBase*", "*Building2D*", "*Building3D*" e "*BuildingExtended*", ed è costituita dalle unità immobiliari.

Col termine unità immobiliare si intende ogni parte di immobile, intero immobile o complesso d'immobili che, nello stato in cui si trova, è di per sé utile e atto a produrre un reddito proprio.

Si tratta di unità di costruzioni che possono essere considerate omogenee per quanto riguarda gli aspetti gestionali.

Unità immobiliari corrispondenti a porzioni di fabbricato sono per esempio gli appartamenti, i negozi o le autorimesse che, pur non occupando un fabbricato intero, possono produrre un reddito proprio.

Esempi di unità immobiliari rappresentate da interi fabbricati sono ville, villini, scuole e alberghi, mentre quelle costituite da un insieme di fabbricati, sono per esempio le industrie e gli ospedali.

La presente macro categoria contiene i dati che è possibile visualizzare con QGIS accedendo all'interfaccia Web “3D Model” e scegliendo il livello di dettaglio desiderato.

2.1.3 Hazard and Risk

Nel presente tema sono elencati tutti i rischi e pericoli che possono influire sul patrimonio culturale o sugli edifici. L'acronimo utilizzato è “NZ”, poiché ci si sofferma sulle informazioni relative all'entità pericoli naturali, incluse le caratteristiche dell'evento osservato, l'area di impatto, i dati sulla copertura del suolo, i parametri di rischio, ecc.

Per il momento lo studio è stato svolto su tre tipologie di rischio naturale, quali sisma, incendio e alluvione.

Le informazioni contenute nell'EID di ResCult sono di tipo statico geografico, per cui saranno costituite da dati *raster*.

La tabella di rappresentazione primaria, è denominata “CoverageByDomainAndRange” ed eredita le proprietà di tutti i temi a essa collegate.

Nella rappresentazione del pericolo sono stati aggiunti alcuni attributi, per includere nell'EID tutti i parametri utili per eseguire l'analisi sviluppata dal progetto ResCult, per cui sono stati riportati anche gli indicatori C6 del Quadro di Sendai.

Nell'entità “*AbstractHazardArea*” sono inclusi gli attributi complessi provenienti dalle tabelle relative ai tre rischi studiati: “*EARTHQUAKEHazardParameters*”, “*FIRERegionalHazardParameters*” e “*FLOODHazardParameters*”.

“*NM_RiskAreaExposedElement*” costituisce l'entità connessa con “*PSProtectedSiteSimple*”, la quale eredita gli attributi di “*PSProtectedSite*”. Questa rappresenta dunque la relazione che lega rischi e pericoli ai beni culturali, che a loro volta costituiscono un luogo da dover proteggere.

Con il tema “*NM_RiskAreaExposedElement*” si vogliono indicare le persone, le proprietà, i sistemi o altri elementi presenti nelle zone di pericolo, che sono dunque soggetti a potenziali perdite.

Occorre inoltre sottolineare che i dati della presente macro categoria sono quelli che vengono visualizzati nel *software* Quantum GIS quando ci accede alle interfacce Web “*Disaster Information*” e “*Risk Analysis*”.

2.1.4 Possible Extensions

Al momento sono stati previsti due settori nella presente macro categoria, quali “Idrografia” e “Trasporti”, ma dato che la struttura è conforme col modello di dati INSPIRE, è possibile estenderla ulteriormente.

L'acronimo “HY” sta per “*Hydrography*” e si riferisce a tutti i dati e le informazioni relative alle caratteristiche idrografiche, quali fiumi, laghi, ecc, mentre “TN” sta per “*Transport Network*” e la corrispondente entità contiene nell'EID informazioni relative alla rete stradale.

Nel *database*, l'entità relativa all'idrografia è stata indicata col termine “*HYHydroObject*”, mentre quella legata ai trasporti è denominata “*CommonTransportElement*”.

Ulteriori estensioni del *database* possono essere inserite caricando il tutto sul sito Web nella voce relativa all'interfaccia “*Crowd Aquiring*”.

2.1.5 Best Practices

Una delle caratteristiche principali del *database* è la possibilità per gli utenti di consultare le “migliori pratiche” di azione in caso di emergenza, le quali possono essere

utili per Protezione Civile e altri esperti, al fine di proteggere un patrimonio culturale inamovibile (come un castello, un museo, ecc.) e/o opere d'arte in esso contenuto.

E' possibile consultarle mediante interfaccia Web "Advice-Seeking" o caricarne di nuove mediante interfaccia "Crowd Aquiring".

Per essere visibile e accessibile tramite WebGIS, sul Modello Concettuale è stata creata una nuova tabella denominata "bestPractice" [Figg. 21 e 22], la quale è stata collegata all'entità riguardante i rischi naturali "NZObservedEvent".

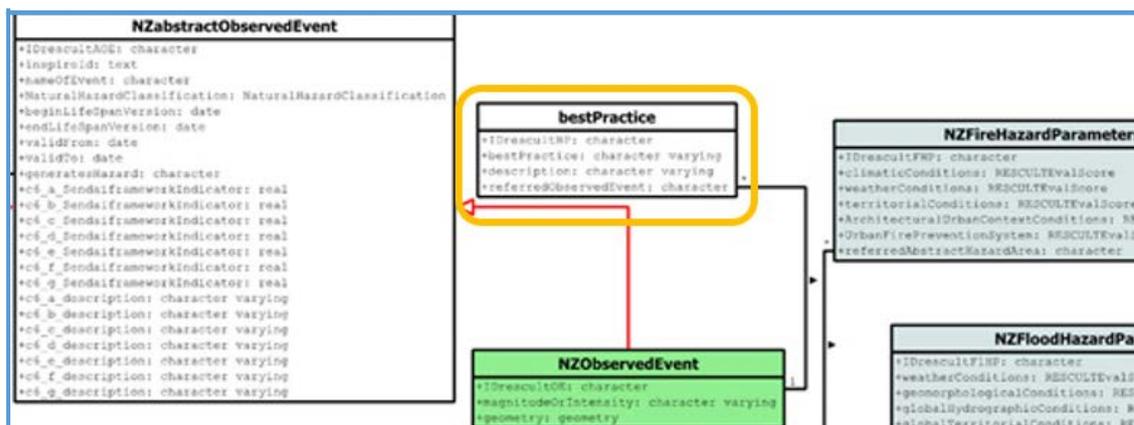


Figura 21 - Entità prevista per le "migliori pratiche".

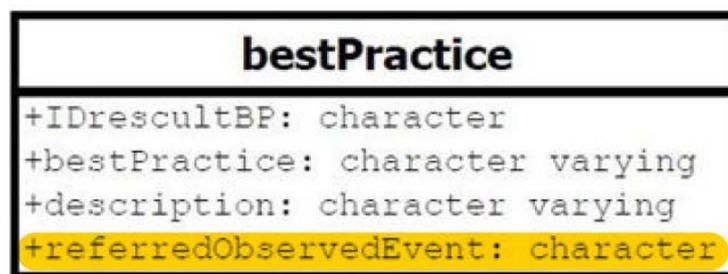


Figura 22 - Attributi dell'entità "bestPractice" con indicazione del collegamento logico.

2.2 Modello Concettuale

Il Modello Concettuale illustra le "Entità", nonché gli oggetti della realtà che si vogliono descrivere, e le "Relazioni" esistenti tra di esse.

Ciascuna entità è inoltre descritta da proprietà, note col termine "Attributi".

Tale modello è rappresentato graficamente mediante un diagramma che riporta all'interno di un rettangolo il nome dell'entità considerata, e la serie di attributi a esso associati, riportati all'interno del rettangolo sottostante.

L'attributo è l'identificativo dell'entità e la caratterizza in modo unico.

Le relazioni vengono definite mediante frecce che collegano due entità, alle cui estremità sono riportate le cosiddette cardinalità, nonché il numero minimo e massimo di occorrenze possibili.

La cardinalità esprime dunque il numero di volte che l'associazione può prodursi tra le entità; per ogni entità saranno specificate due cardinalità.

Per semplificare la visualizzazione, si è scelto di riportare la struttura del Modello Concettuale con i soli rettangoli che esprimono ciascuna entità, senza indicare i relativi attributi.

Il modello UML di INSPIRE è più complesso e più grande di quello qui proposto e molte tabelle e relazioni non sono presenti. Si tratta per l'appunto di una semplificazione.

Per altri casi si sono invece estesi ulteriormente i diagrammi UML di INSPIRE [Fig. 23], al fine di rispettare i requisiti che deve avere l'EID di ResCult.

Pertanto sono state aggiunte ulteriori tabelle, considerando parametri e attributi provenienti da altre fonti, e si è proceduto al loro collegamento con le tabelle proposte da INSPIRE.

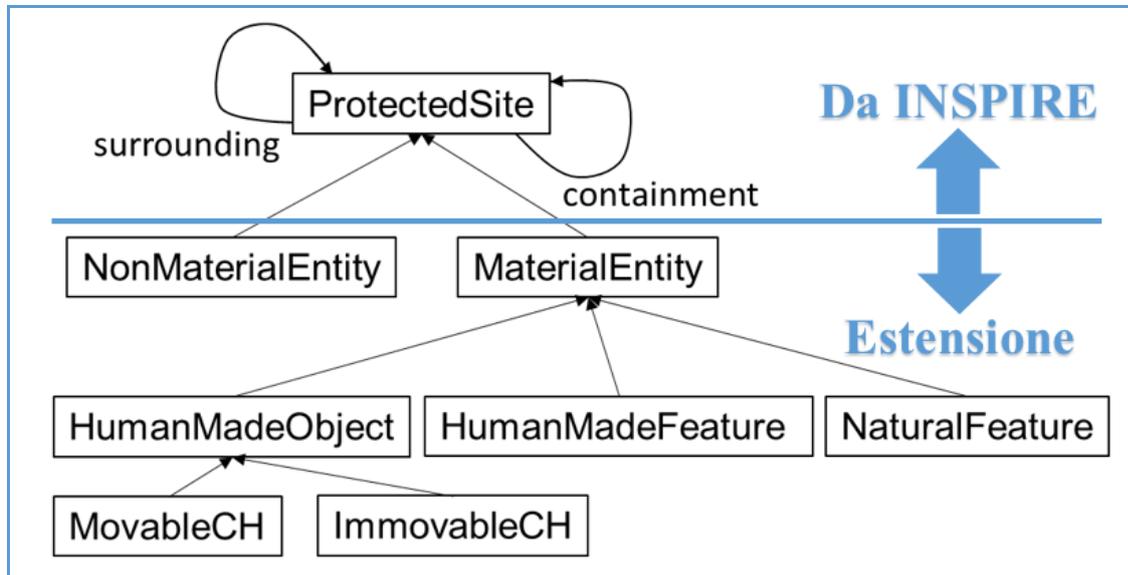


Figura 23 – Esempio di porzione del modello di dati INSPIRE e sua estensione in ResCult.

Per visualizzare com'è stato inizialmente pensato e progettato il modello UML concettuale dell'EID di ResCult, si rimanda agli allegati A1 e A2.

2.2.1 Struttura semplificata dell'EID

Di seguito si riporta la rappresentazione del diagramma del Modello Entità – Relazioni [Fig. 24].

E' raffigurato solo il rettangolo col titolo dell'entità di riferimento e i colori sono stati utilizzati per differenziare le aree ontologiche descritte nel paragrafo 2.1 [Figg. 25, 26, 27 e 28].

Le frecce in rosso e in nero descrivono diverse tipologie di relazioni esistenti tra le entità.

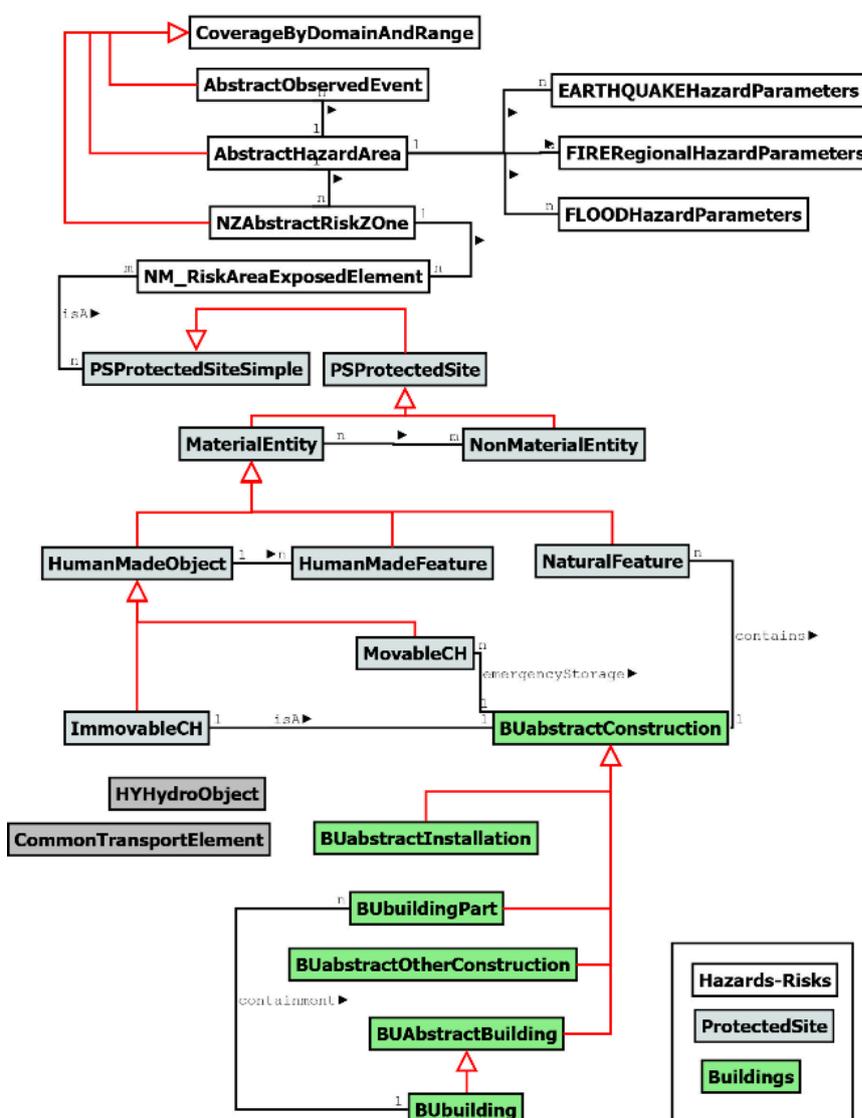


Figura 24 - Struttura semplificata del Modello Concettuale di ResCult. Bianco: "Hazard-Risks"; Azzurro: "Protected Site"; Verde: "Buildings"; Grigio: "Possible Extensions".

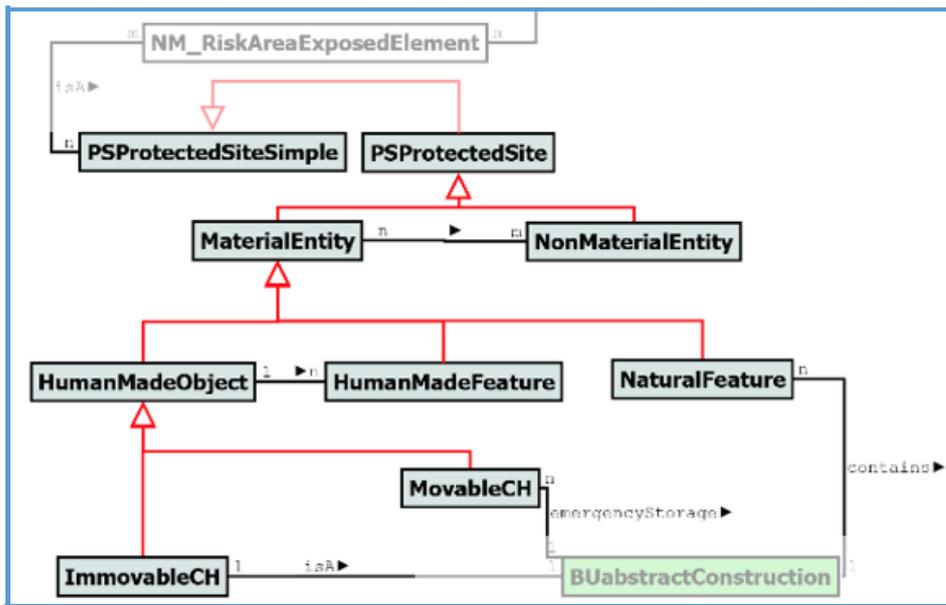


Figura 25 - Entità connesse al settore "Protected Site".

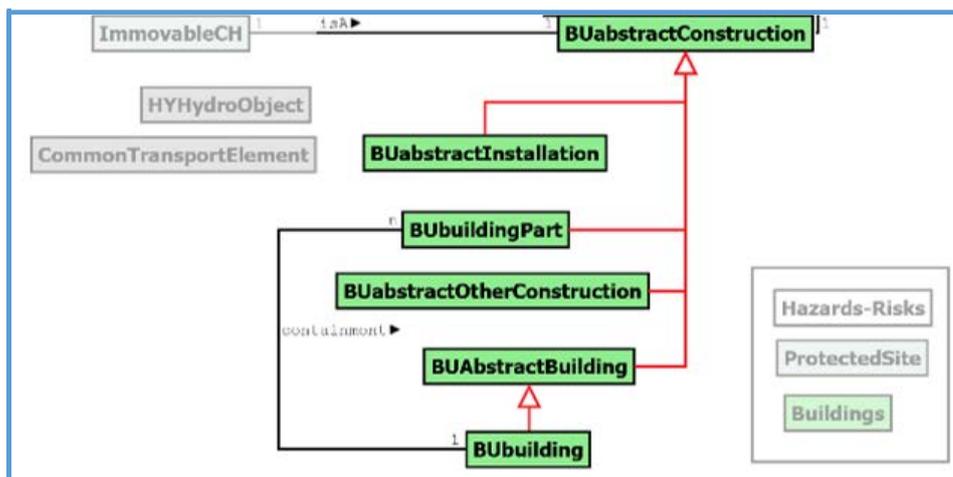


Figura 26 - Entità connesse al settore "Building".

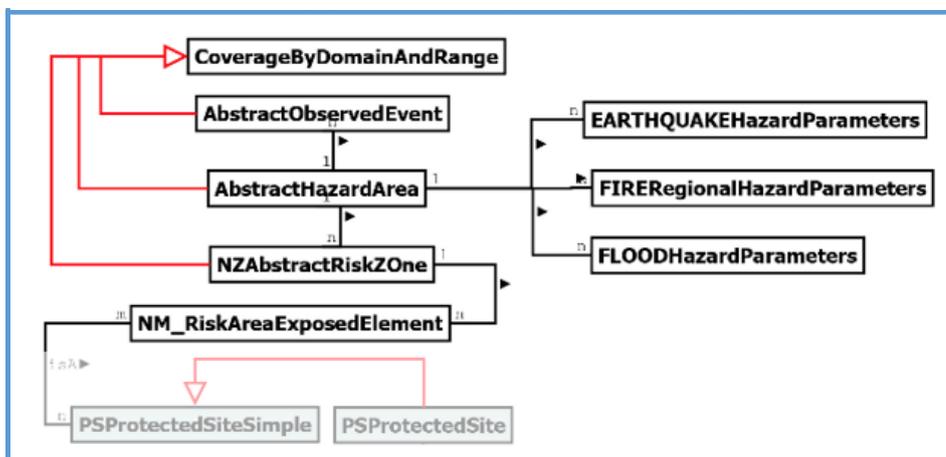


Figura 27 - Entità connesse al settore "Hazard and Risk".

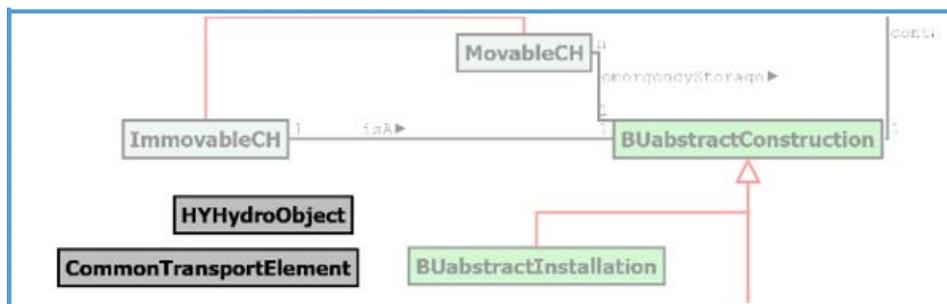


Figura 28 - Entità connesse al settore "Possible Extensions".

2.2.2 Relazioni

Le frecce rosse rappresentano un collegamento diretto tra due tabelle e la direzione della freccia indica quale entità eredita gli attributi dell'altra.

Tale collegamento può essere espresso con tre diverse tipologie di relazioni: "is - a", "contains" e "emergency storage", esplicitate nel paragrafo 1.3.1.

Con riferimento alla relazione del tipo "is - a" e guardando la porzione di Modello Concettuale riguardante il settore "Building", si ha per esempio che "BUabstractConstruction" è un "BUabstractBuilding", che a sua volta è un "BUbuilding" [Fig.29].

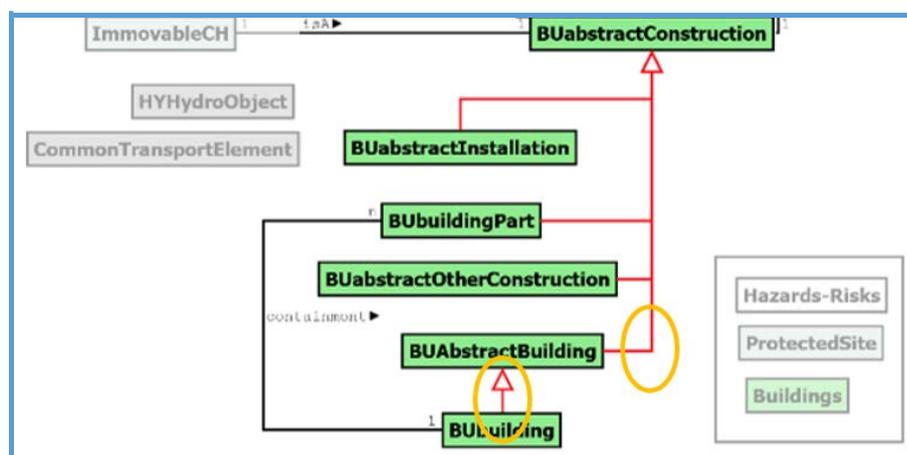


Figura 29 - Esempio di gerarchia tra entità in relazione tra loro.

Le frecce nere rappresentano invece due diverse tipologie di rapporto: "1 a 1" e "1 a molti" [Fig. 30].

Esistono in realtà anche relazioni "da molti a molti", in quanto possiamo avere molti oggetti primari collegati a molti oggetti secondari.

Un esempio di questa relazione possono essere il patrimonio culturale e i documenti; un patrimonio culturale può essere menzionato in molti documenti, ma un singolo documento può menzionare molti beni culturali.

In questo caso la relazione è comunemente definita da “n a m” [Fig. 30], e nel diagramma del Modello Concettuale, compare come una tabella speciale denominata “NM” integrata tra due entità correlate.

Pertanto, le entità “NM” costituiscono tabelle temporanee intermedie di connessione utilizzate per rappresentare questa tipologia di relazione.

Occorre sottolineare che la relazione “1 a molti” può anche essere del tipo “molti a 1” [Fig. 30].

Per comprenderne le differenze è possibile ricorrere a un esempio pratico.

Quando si parla di relazione “1 a molti”, vuol dire che un solo oggetto primario è connesso con più oggetti secondari; un esempio potrebbe essere un singolo patrimonio culturale, il quale può avere molti parametri di vulnerabilità, come la protezione, l'efficienza, il rendimento ecc.

Di contro, la relazione “molti a 1”, indica che molti oggetti primari possono essere collegati a un singolo oggetto secondario, per cui per esempio molti pericoli naturali possono interessare la stessa area.

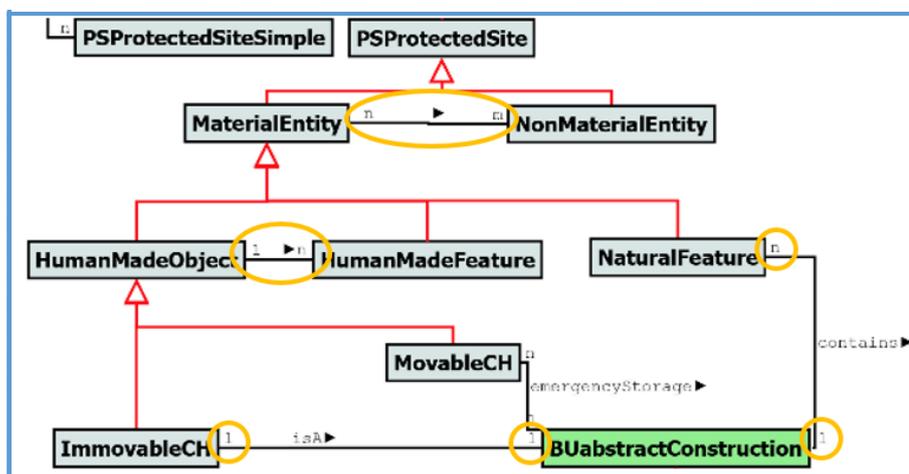


Figura 30 - Esempi di cardinalità “1 a 1”, “1 a n”, “n a 1” e “n a m”.

Oltre agli acronimi sopra descritti, quali “PS”, “BU”, “NZ”, “HY”, “TN” e “NM”, ne esiste un ultimo, “ELE”, utilizzato per le tabelle correlate al concetto topografico di “Elevation”, relativo all'informazione altimetrica.

2.3 Modello Logico

Per esprimere il Modello Concettuale in una struttura di dati traducibile in un linguaggio comprensibile all'elaboratore, si utilizza il Modello Logico.

In questa fase vengono definite le modalità con cui memorizzare i dati e come collegarli fra loro, secondo quanto specificato dal Modello Concettuale.

I dati possono essere memorizzati secondo diverse tipologie di seguito elencate [Tab. 14].

Character	Corrisponde a una stringa di caratteri con terminazione nulla con la lunghezza specificata. I valori vengono riempiti con spazi vuoti alla lunghezza specificata. La lunghezza predefinita è 1. La lunghezza massima è di 2000 caratteri.
Character Varying	Corrisponde a una stringa di caratteri a lunghezza variabile con la lunghezza massima specificata. La lunghezza predefinita è 1 carattere. La lunghezza massima è 31995 caratteri.
Date	Memorizza un valore di data come tre parti: anno, mese e giorno. Gli intervalli per le parti sono: 1. Anno: da 1 a 9999 2. Mese: da 1 a 12 3. Giorno: il limite inferiore è 1; il limite superiore dipende dal mese e dall'anno.
Double Precision	Corrisponde a un numero in virgola mobile a doppia precisione.
Enumeration	I tipi enumerati (enum) sono tipi di dati che comprendono un insieme di valori statici e ordinati. Sono equivalenti ai tipi di enumerazione supportati in numerosi linguaggi di programmazione. Un esempio di un tipo di enumerazione potrebbe essere il giorno della settimana o un insieme di valori di stato per una parte di dati.
Geometry	I tipi di dati geometrici rappresentano oggetti spaziali bidimensionali.
Integer	Corrisponde a un valore intero nell'intervallo compreso tra -2147483648 e 2147483647.
Raster	I dati raster sono una matrice di celle (o pixel) organizzate in righe e colonne (o una griglia) in cui ogni cella contiene un valore che rappresenta le informazioni. A differenza del formato vettoriale, i dati memorizzati in formato raster possono essere utilizzati per rappresentare vari fenomeni del mondo reale come: 1. Dati sull'uso del suolo o del suolo classificati come dati discreti. 2. Dati di temperatura, elevazione o spettrali provenienti da immagini satellitari e fotografie aeree classificate come dati continui. 3. Immagini come mappe scansionate o fotografie di disegni ed edifici.
Real	Corrisponde a un numero in virgola mobile a singola precisione.
RESULTEvalScore	Un valore numerico compreso tra 0,1 e 1,0 (sull'approssimazione decimale) utilizzato per gli indicatori relativi all'analisi del rischio.
Serial	I tipi di dati "smallserial", "serial" e "bigserial" non sono veri tipi, ma semplicemente una comodità notazionale per la creazione di colonne identificative univoche.
Text	Il tipo di dati "Text" memorizza qualsiasi tipo di dati di testo. Può contenere sia caratteri a byte singolo che multibyte.

Tabella 14 - Tipologie di dato utilizzate per la memorizzazione nel database di ResCult.

Per definire i collegamenti logici è necessario rappresentare lo schema del Modello Concettuale con gli attributi previsti per ogni entità e indicare il campo comune alle due tabelle poste in relazione.

A titolo esemplificativo si vuole dunque illustrare una parte del *database* esteso [Fig. 31].

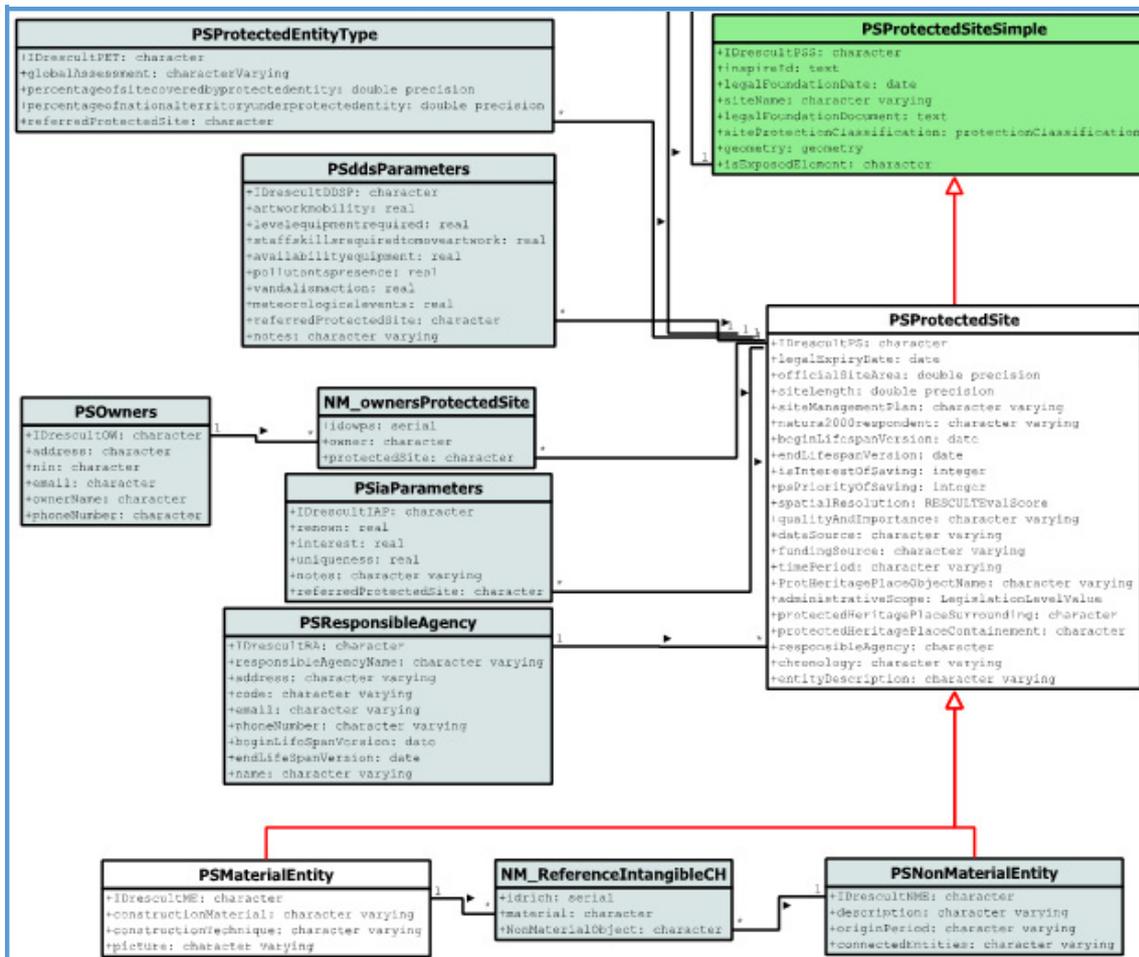


Figura 31 - Porzione estesa del modello di dati.

Per consultare il modello completo, si rimanda all'allegato A3.

2.4 Modello interno: l'implementazione dell'EID

Il primo passo per la realizzazione del GIS è la creazione di *shapefile* relativi a ogni entità rappresentata nei diagrammi di Modello Concettuale e Modello Logico.

I *software* utilizzati sono PostgreSQL e successivamente Quantum GIS.

Name	Data type	Length
idresculteqhp	character	
eqhp_serial	integer	
seismicconditions	rescult."RESCULTEvalScore"	
geologicalconditions	rescult."RESCULTEvalScore"	
referredabstracthazardarea	character	
architecturalurbancontextconditions	rescult."RESCULTEvalScore"	

S
I
S
M
A

Name	Data type	Length
idrescultfhp	character	
fhp_serial	integer	
climaticconditions	rescult."RESCULTEvalScore"	
weatherconditions	rescult."RESCULTEvalScore"	
territorialconditions	rescult."RESCULTEvalScore"	
architectural_urban_context_conditi...	rescult."RESCULTEvalScore"	
urban_fire_prevention_system	rescult."RESCULTEvalScore"	
referred_abstract_hazard_area	character	

I
N
C
E
N
D
I
O

Name	Data type	Length
idrescultflhp	character	
flhp_serial	integer	
weatherconditions	rescult."RESCULTEvalScore"	
geomorphologicalonditions	rescult."RESCULTEvalScore"	
global_hydrographic_conditions	rescult."RESCULTEvalScore"	
global_territorial_conditions	rescult."RESCULTEvalScore"	
architectural_urban_context_conditi...	rescult."RESCULTEvalScore"	
local_hydrographic_conditions_flood	rescult."RESCULTEvalScore"	
contrast_of_risk	rescult."RESCULTEvalScore"	
referred_abstract_hazard_area	character	

A
L
L
U
V
I
O
N
E

Figura 34 – Tabella degli attributi delle entità riguardanti i tre rischi naturali.

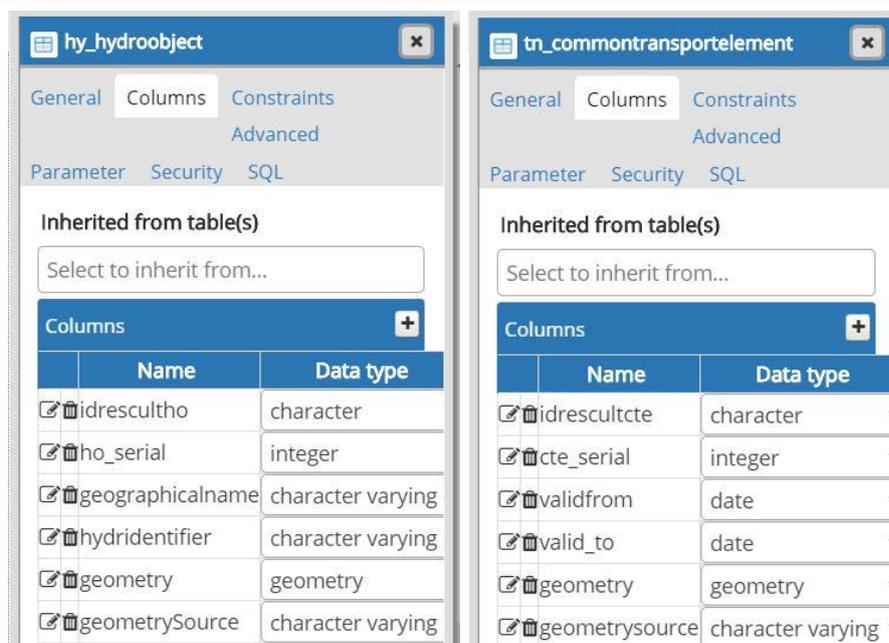


Figura 35 - Tabella degli attributi delle entità riguardanti le possibili estensioni del DB.

Il *database* è stato in un primo luogo implementato in PostgreSQL e successivamente aperto e visualizzato mediante QGIS.

Al fine di rendere possibile la compatibilità tra i due *software*, le entità progettate sono state riportate tutte in carattere minuscolo [Figg. 32, 33, 34 e 35].

3. Acquisizione dei dati

Nel presente capitolo si vogliono illustrare le differenti tecniche di rilevamento impiegate durante la fase di acquisizione dati per i casi studio di Quinson e Tolentino [vedasi paragrafi 3.1 e 3.2]. Si tratta di tecniche definite “multirisoluzione” e “multisensore”, in quanto gli strumenti utilizzati hanno consentito di ottenere dati progressivamente più dettagliati a seconda della scala a cui si è fatto riferimento.

Si riporta di seguito la classificazione delle scale di dettaglio in cui è possibile suddividere l’attività di rilievo e in funzione delle quali deriva la scelta dei sensori più opportuni da adoperare [Tab. 15].

Rilievo archeologico	Oggetti da rilevare	Dati e tecniche di rilievo
Scala regionale	Territorio Topografia Sito	Immagini satellitari Immagini aeree a piccola scala Radar aereo e da satellite LiDAR aereo GPS / GNSS
Scala locale	Sito Architetture Scavo Strati	Immagini satellitari ad alta risoluzione Immagini aeree a grande scala Radar aereo LiDAR aereo Laser scanner terrestre TOF / CW Immagini terrestri Stazione totale GPS / GNSS SLAM (Simultaneous Localization And Mapping)
Scala oggetto	Ritrovamenti Oggetti museali	Immagini terrestri Laser scanner a triangolazione Sistemi a luce strutturata Scanner 3D manuali

Tabella 15 - Suddivisione delle scale di lavoro nel caso di rilevamento archeologico.

La presente suddivisione definisce dunque gli oggetti da poter rilevare e conseguentemente le tecniche di rilievo consentite per l’acquisizione dei dati.

Sfruttare tecniche che raggiungono diverse scale di dettaglio permette di soddisfare i principi su cui si basa la rappresentazione multiscala prevista da CityGML e adottata nel progetto ResCult.

Per il caso studio di Venezia [vedasi paragrafo 3.3] non sono state eseguite misurazioni sul campo, ma sono state acquisite solamente rappresentazioni cartacee bidimensionali.

3.1 Il caso studio di Quinson

Il caso studio nel Comune di Quinson, situato nelle Alpi dell'Alta Provenza, è il Museo della Preistoria “*Musée de Préhistoire des Gorges du Verdon*” [Fig. 36], contenente innumerevoli beni mobili altamente vulnerabili al rischio incendio. Per questo bene è stata svolta un'unica campagna di rilievo, alla quale ho preso parte durante l'attività di tirocinio.



Figura 36 – Piazza antecedente l'ingresso al Museo (in alto a sinistra), viste interne (in basso a sinistra e destra, in alto a destra).

Il fine è stato quello di giungere a una rilevazione metrica completa delle aree interne ed esterne. L'approccio di vari strumenti e metodi di indagine, insieme a un'integrazione efficiente dei diversi dati acquisiti, ha consentito di ottenere una modellazione tridimensionale dettagliata, sia del bene culturale immobile, che di due beni mobili in esso contenuti; si è dunque raggiunto un rilievo archeologico a scala oggetto [Tab. 15]. Il tutto è risultato utile per la compilazione dell'EID di ResCult.

Di seguito si illustrano, in uno schema riassuntivo, le tecniche di rilievo adoperate e le conseguenti procedure applicative scelte per il raggiungimento degli obiettivi prefissati [Fig. 37].

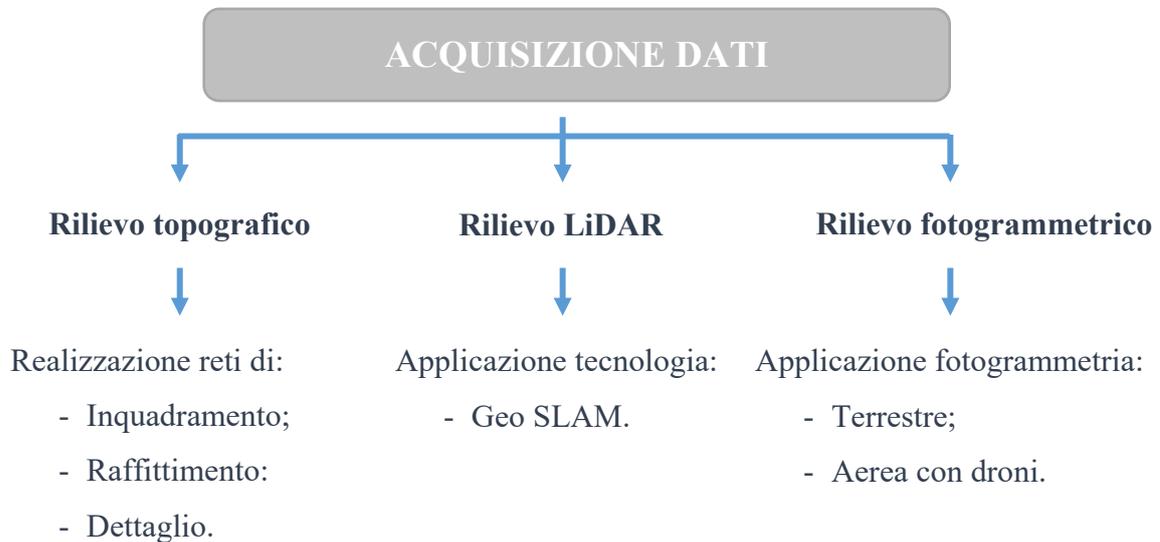


Figura 37 – Modalità operative riguardanti la fase di acquisizione dati.

La fase di acquisizione dati ha interessato i giorni dall’11 al 13 Giugno 2018.

In particolare l’11 Giugno ci si è limitati alla pianificazione delle attività da svolgere, scegliendo il numero di vertici da considerare e posizionando i *marker* sul terreno e sulle pareti del Museo. Si sono contemporaneamente redatte le monografie dei vertici e gli eidotipi dei prospetti del caso studio. Tali prospetti sono inoltre stati rilevati con tecnica fotogrammetrica terrestre.

Il giorno successivo si sono realizzate le tre reti topografiche di inquadramento, raffittimento e dettaglio, sfruttando diverse strumentazioni. Si è proceduto con l’integrazione di tecniche LiDAR⁹; in particolar modo sono stati utilizzati *laser scanner* terrestri mobili, che si basano sulla tecnologia Geo SLAM¹⁰, e si sono effettuati voli con diversi dispositivi UAV¹¹.

L’ultima giornata di lavoro è stata dedicata al rilevamento degli interni, di due beni mobili, e alla prosecuzione dei voli fotogrammetrici.

⁹ “Light Detection And Ranging” o “Laser Imaging Detection And Ranging”.

¹⁰ Simultaneous Localization And Mapping.

¹¹ Unmanned Aerial Vehicle.

3.1.1 Rilievo topografico

Per la realizzazione della **rete di inquadramento**, sono stati scelti quattro vertici, rinominandoli rispettivamente “1000”, “2000”, “3000” e “4000” [Fig. 38].



Figura 38 – Schermata del Museo della Preistoria di Quinson da Google Earth Pro e indicazione dei vertici scelti per il posizionamento dei ricevitori Leica.

Su ciascuno dei capisaldi materializzati sono stati posizionati dei ricevitori GNSS¹² Leica¹³, i quali sono stati messi in stazione e sono stati utilizzati per eseguire acquisizioni in modalità statica, impostando un angolo di *cut off* pari a 15° e un intervallo di acquisizione pari a 5 secondi.

Per ogni vertice della rete di inquadramento sono inoltre state redatte *in situ* le monografie, al fine di indicarne le posizioni approssimate nella realtà e di archiviare informazioni utili per eventuali campagne di rilievo svolte in tempi successivi.

In aggiunta, sono state allegate parti fotografiche che individuassero il punto di appoggio nella vista generale e la sua materializzazione finale.

A titolo esemplificativo si è scelto di illustrare una rielaborazione personale della monografia relativa al punto “1000” della rete di inquadramento [Tab. 16].

¹² Global Navigation Satellite System, Sistema Satellitare Globale di Navigazione.

¹³ Sono stati utilizzati i ricevitori Leica – 3 e Leica – 4.

Indagine geomatica - MONOGRAFIA VERTICE	
<p>Luogo: Musée de la Préhistoire des Gorges du Verdon, Quinson (FR) Data: 11-13 Giugno 2018 Nome vertice: "1000" Operatore: Valeria De Ruvo</p>	
PLANIMETRIA DI BASE	DISEGNO MONOGRAFIA VERTICE
 <p>ZOOM, Indicazione posizione vertice</p>	
	
<p>Tipo di materializzazione: Chiodo acciaio con rondella Politecnico di Torino Acquisizione foto (dispositivo e proprietario): Cellulare Valeria Strumento di rilievo: Leica - 4 Altezza strumentale: 1,276 m Tipo di antenna: Leica - 4 1202 Data: 11/06/2018 Ora inizio acquisizione: Ora fine acquisizione: Coordinate UTM WGS 84 F32 (E; N; h_{ellissoidica}): Coordinate locali (E; N; h_{ellissoidica}): Note: Lavoro Leica 4 G1</p>	
	<p>Strumento di misura: Uncino Operatore: Operatore:</p>

Tabella 16 – Esempio di compilazione della monografia del vertice 1000. Redatta in seconda battuta in data 10/12/2018.

Le monografie a corredo delle acquisizioni dei punti costituenti l'ossatura del rilievo, hanno inoltre consentito di fungere da riferimento per le reti topografiche secondarie.

La **rete di raffittimento** è stata infatti realizzata scegliendo e materializzando con appositi *marker* [Fig. 39] ulteriori punti, dei quali sono state determinate le coordinate stazionando su di essi per alcuni secondi.



Figura 39 – Posizionamento dei marker su terreno.

Nello specifico sono stati considerati sedici punti, scelti in modo da descrivere in maniera omogenea tutto il territorio.

Per l'acquisizione delle coordinate dei punti di raffittimento è stato eseguito un rilievo in modalità pseudo statica, utilizzando un ricevitore che rimane fermo su un vertice della rete di inquadramento e che costituisce la base, mentre l'altro, indicato col termine *rover* [Fig. 40], è stato posizionato su palina e spostato sui punti da battere; i due ricevitori sono stati utilizzati contemporaneamente e sono connessi via radio *modem*.

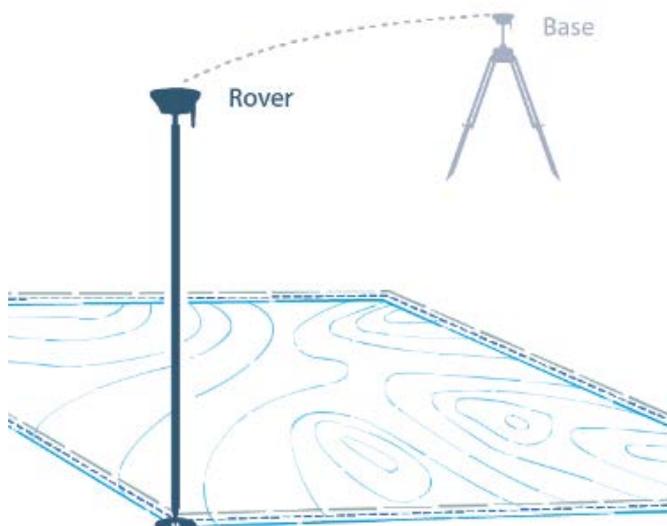


Figura 40 – Schema della modalità di rilievo pseudo statica.

Tale modalità operativa è nota anche col termine “*Real Time Kinematic*”, abbreviato “RTK”, e ha permesso di conoscere istantaneamente la posizione di un punto, il quale è stato registrato e rinominato con numeri da “102” a “117” [Figg. 41 e 42].



Figura 41 – Registrazione dei marker posizionati a terra indicati con un punto rosso e numerati da “102” a “117”. Tre dei presenti punti sono iscritti in un triangolo arancio per indicare la coincidenza della loro posizione coi vertici illustrati in figura 38. In verde il punto “159” coincide invece con lo spigolo di un tombino.



Figura 42 – Applicazione della tecnica di rilievo RTK e registrazione dei punti “115” (a sinistra) e “117” (a destra).

Si è scelto inoltre di acquisire le coordinate di un punto naturale, coincidente con lo spigolo di un tombino. Nella figura 43 è possibile osservare l'operazione svolta. Tale punto è stato rinominato col numero "159", come indicato in figura 41 con colore verde.



Figura 43 – Applicazione della tecnica di rilievo RTK stazionando per alcuni secondi con il rover su un punto naturale coincidente con lo spigolo di un tombino.

Per la realizzazione della **rete di dettaglio** sono stati posizionati a quote differenziate i *marker* sui prospetti del Museo [Fig. 44]. Per l'acquisizione delle coordinate è stato eseguito un rilievo celerimetrico sfruttando la stazione totale Leica TS 06 [Fig. 44], la quale è stata posizionata sui vertici costituenti la rete di inquadramento e orientata verso i punti di coordinate incognite.



Figura 44 – Indicazione della posizione dei marker su uno dei prospetti del Museo di Quinson (a sinistra), e loro registrazione mediante stazione totale (a destra).

Oltre alla registrazione delle coordinate dei punti materializzati con i *target* su parete, sono stati sfruttati alcuni punti naturali fissi, coincidenti con gli spigoli dei riquadri in cui risultavano suddivisi i fronti del Museo.

A titolo esemplificativo si è scelto di riportare uno degli eidotipi prodotto durante l'attività di acquisizione, sul quale sono stati integrati i nomi attribuiti a ciascun punto registrato [Fig. 45].

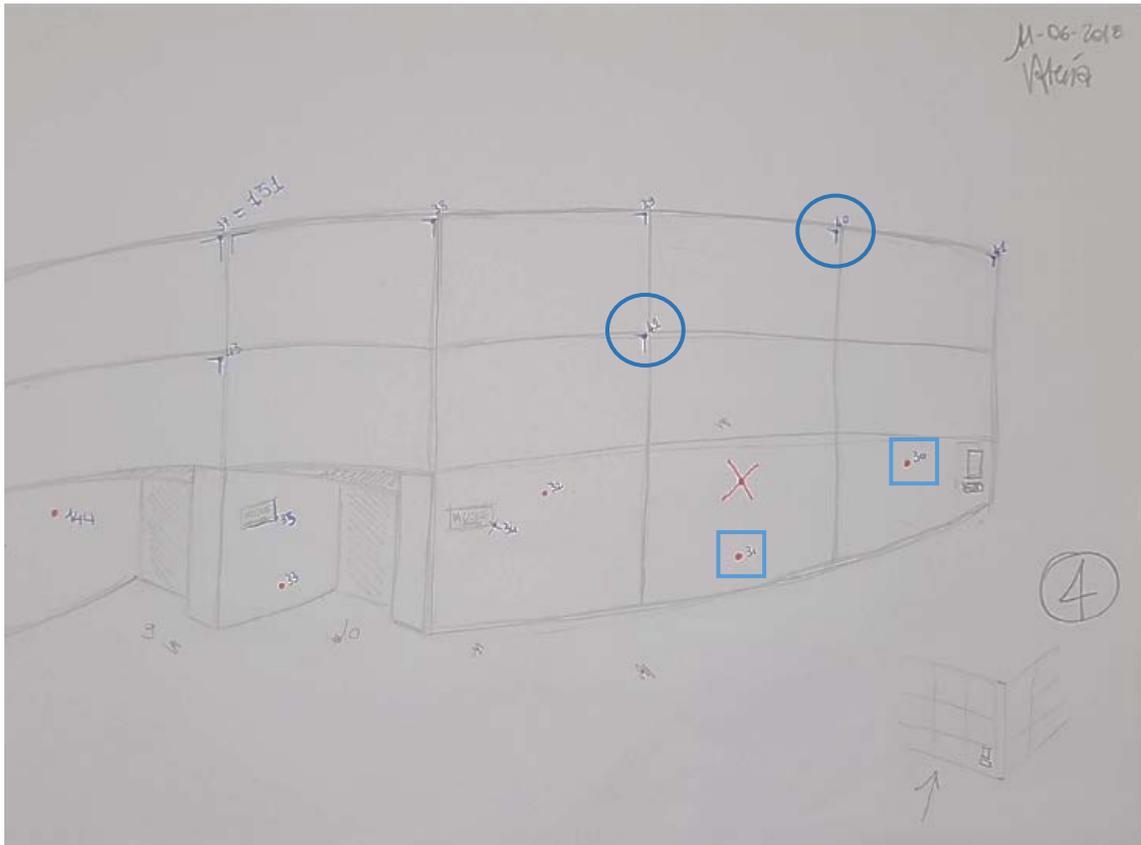


Figura 45 – Stesura eidotipo con indicazione dei marker su parete e loro enumerazione corrispondente alla nomenclatura utilizzata mediante stazione totale. I punti “30” e “31” nel riquadro corrispondono ai marker evidenziati in figura 44. I punti inscritti nella circonferenza identificano alcuni dei punti naturali fissi scelti per l’acquisizione delle coordinate.

La stazione totale è stata utilizzata anche per collimare i punti della rete di raffittimento. Si riporta nella pagina seguente un esempio del risultato ottenuto dall’operazione di collimazione per due punti materializzati con *target* posizionati sui fronti del Museo, più due naturali individuati con lo spigolo di un tombino e con lo spigolo di un riquadro della parete [Fig. 46].

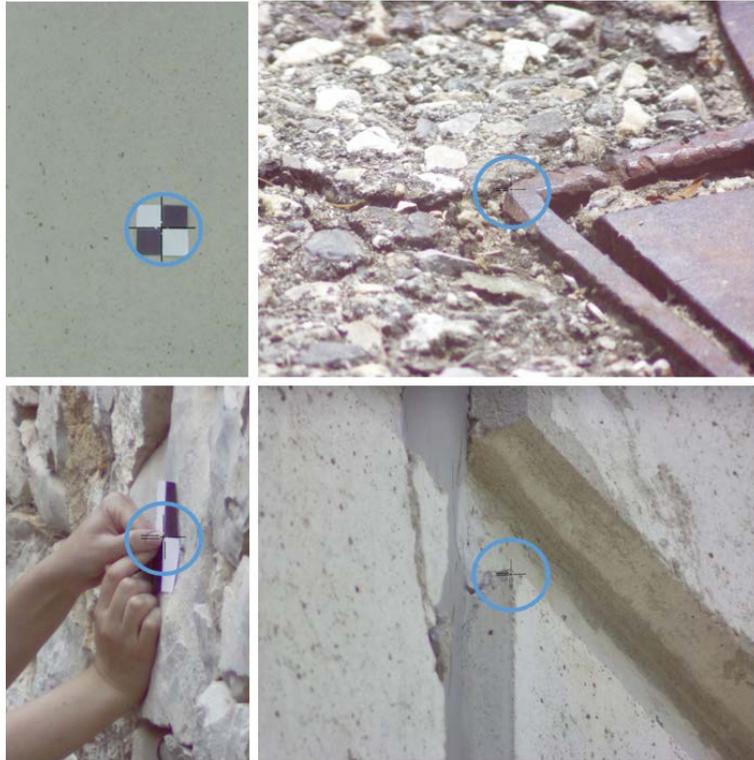


Figura 46 – Registrazione di due punti materializzati con target su parete (a sinistra), di un punto coincidente con lo spigolo di un tombino (in alto a destra) e di un altro coincidente con lo spigolo di uno dei riquadri con cui risulta suddiviso il fronte del Museo (in basso a destra).

Al fine di garantire un collegamento tra le stazioni posizionate sui capisaldi, è stata inoltre eseguita la triangolazione sfruttando un mini prisma Leica 360 [Fig. 47].



Figura 47 – Procedura di triangolazione (a sinistra) eseguita per il Museo di Quinson sfruttando un mini prisma Leica 360 (a destra).

3.1.2 Rilievo LiDAR

Il rilievo topografico è stato integrato a quello LiDAR, basato sulla registrazione di scansioni *laser*; quest'ultima metodologia operativa ha contribuito alla realizzazione della rete di dettaglio.

Si tratta di una metodologia di rilievo speditiva, che consente di acquisire coordinate automaticamente, sistematicamente e con un'elevata densità.

Nello specifico sono stati utilizzati due *laser* scanner 3D mobili, in grado di eseguire scansioni in movimento, sfruttando la **tecnologia SLAM**, in totale assenza di GPS, e capaci di integrare mappatura e posizione in tempo reale, visualizzando la *dense cloud* in tre dimensioni, senza ricorrere alla fase di post - elaborazione.

Per il rilievo delle aree esterne, nonché dei fronti del caso studio, è stato utilizzato il Kaarta STENCIL [Fig. 48], del quale si riportano le specifiche tecniche nella tabella 17.



Figura 48 – Esempio di laser scanner mobile con tecnologia SLAM: Kaarta STENCIL.

Fonte: <https://www.microgeo.it/it/201645-nuovi-arrivi/kaarta-stencil.aspx>.

SPECIFICHE TECNICHE	
FORMATO	.ply
MODALITA'	Mappatura di base Unisci mappe per aree più grandi e complesse Compatibile con file prodotti con Kaarta Contour
IMU	IMU interno basato su MEMS Sei GDL: X,Y,Z, rollio, beccheggio, imbardata

PROCESSORE	Intel NUC i7 Dual Core
PORTE	Video HDMI Tipo A 4 USB 3.0 Mini DisplayPort Rj-45 Ethernet
MEMORIA	250 GB SSD
OS	Ubuntu Linux OS
LASER	Adattatore standard per Velodyne VLP-16 lidar 100 m raggio 360° campo visivo orizzontale 30° campo visivo verticale
FEATURE TRACKER	Risoluzione 640 x 360 Frequenza fotogrammi 50 Hz Immagini bianco e nero
PESO	700 g (1,54 lb)
ALIMENTAZIONE	12-19 vDC
PIATTAFORME DI MONTAGGIO	A mano Zaino Veicolo Drone Aereo
ACCESSORI INCLUSI	23000 mAh, Batteria esterna 85 W Adattatore di corrente alternata Piatto base per fotocamera o kit treppiede
ACCESSORI OPZIONALI	Kit montaggio sul veicolo Kit accessori Stencil

Tabella 17 – Specifiche tecniche del Kaarta Stencil.

Si è provato a eseguire un rilievo dell'esterno anche con il *laser scanner* portatile GeoSLAM ZEB-REVO [Fig. 49], in grado di rilevare oltre 40000 punti al secondo e dotato di piattaforma inerziale IMU (*Inertial Measurement Unit*) e di sensore capace di seguire i movimenti compiuti dall'operatore durante la fase di rilievo.

Quest'ultimo è stato inoltre utilizzato per condurre un rilievo degli interni del Museo.

Entrambi gli strumenti sopra citati offrono risoluzioni inferiori rispetto ai *laser scanner* 3D fissi; per il rilevamento degli esterni è prevista una portata massima di 30 m, mentre per il rilevamento di spazi esterni, la portata raggiungibile si riduce all'incirca della metà, fino a un massimo di 15-20 m.

Occorre sottolineare che per tali dispositivi, al fine di ottenere la nuvola di punti, l'operatore che li ha utilizzati ha dovuto compiere una serie di percorsi chiusi ad anello, partendo da un punto e ritornando allo stesso.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle specifiche tecniche dello ZEB-REVO [Tab. 18].



Figura 49 - Esempio di laser scanner mobile con tecnologia SLAM: GeoSLAM ZEB-REVO.

Fonte: <https://www.lesirl.ie/products/geoslam-zeb-revo-with-zeb-cam>.

SPECIFICHE TECNICHE	
RANGE MASSIMO	Fino a 30 m in condizioni ottimali Tipico range massimo 15-20 m
VELOCITA' DI ACQUISIZIONE DATI	43200 punti/sec.
RISOLUZIONE	0,625° orizzontale 1,8° verticale
CAMPO VISIVO ANGOLARE	270° X 360°
TENSIONE DI ALIMENTAZIONE	12 VDC ± 10%
CORRENTE DI ALIMENTAZIONE	Massima 1,5 A; normale 1,0 A
CONSUMO DI ENERGIA	Meno di 20 W
TEMPERATURA OPERATIVA	Da 0°C a +50°C
UMIDITA' OPERATIVA	< 85% UR
FUNZIONAMENTO DI MONTAGGIO	Manico rimovibile fornito; può essere anche montato su una palina o su un veicolo

Tabella 18 – Specifiche tecniche del GeoSLAM ZEB-REVO.

Durante la fase di acquisizione con entrambi gli strumenti *hand-held*, si è già ottenuta la traiettoria percorsa e la nuvola di punti correlata al rilievo.

Di seguito si riporti quanto ottenuto dal rilievo con strumentazione Kaarta Stencil [Figg. 50 e 51].

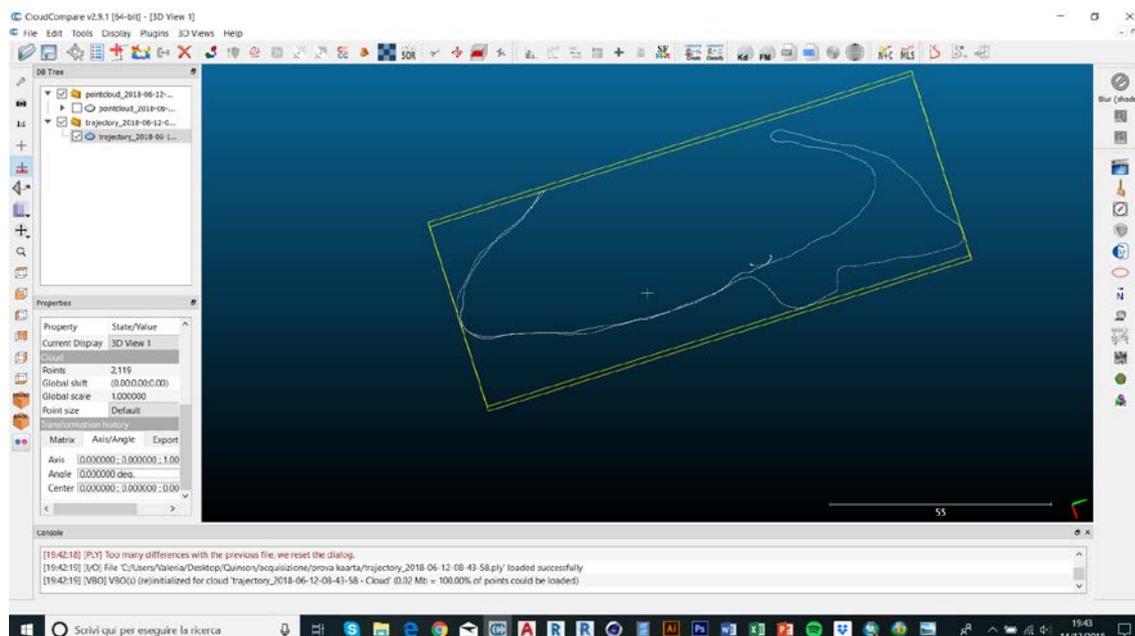


Figura 50 – Schermata da CloudCompare della traiettoria percorsa con lo strumento Kaarta Stencil.
Nuvola costituita da 2119 punti.

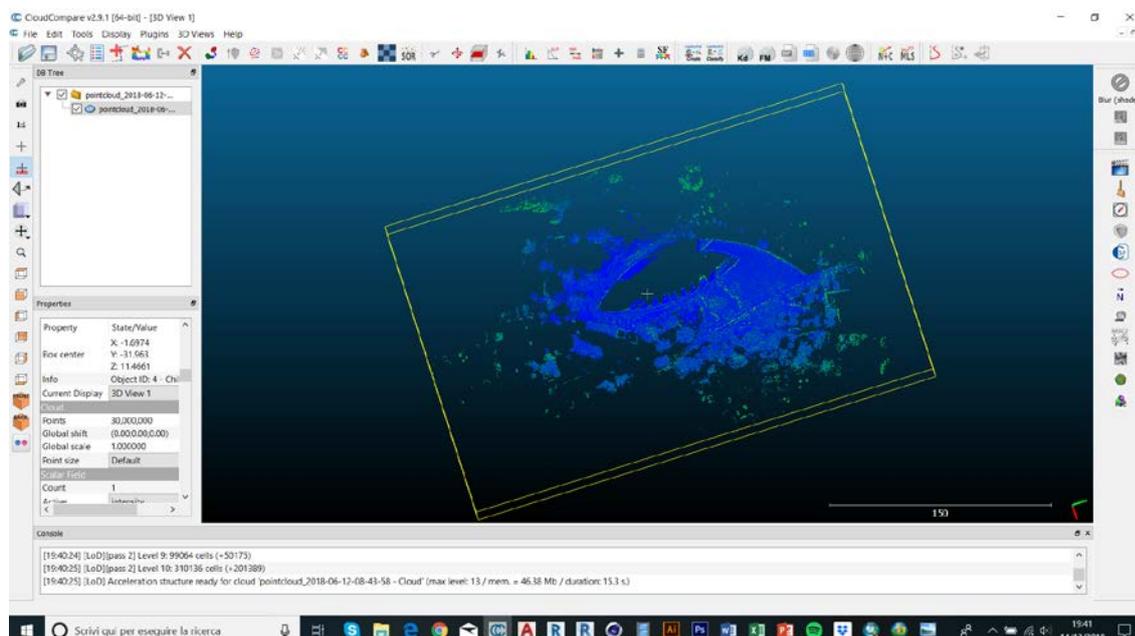


Figura 51 - Schermata da CloudCompare della nuvola di punti ottenuta dal rilievo con Kaarta Stencil.
Nuvola costituita da 30000000 punti.

Nel caso dello strumento ZEB-REVO, la nuvola di punti e la traiettoria sono visualizzabili nel software Hub di GeoSLAM [Fig. 52]. Nel nostro caso ci si è connessi alla rete internet da dispositivo iPad mini 4, con cui si sono potuti sincronizzare i dati acquisiti [Fig. 53].

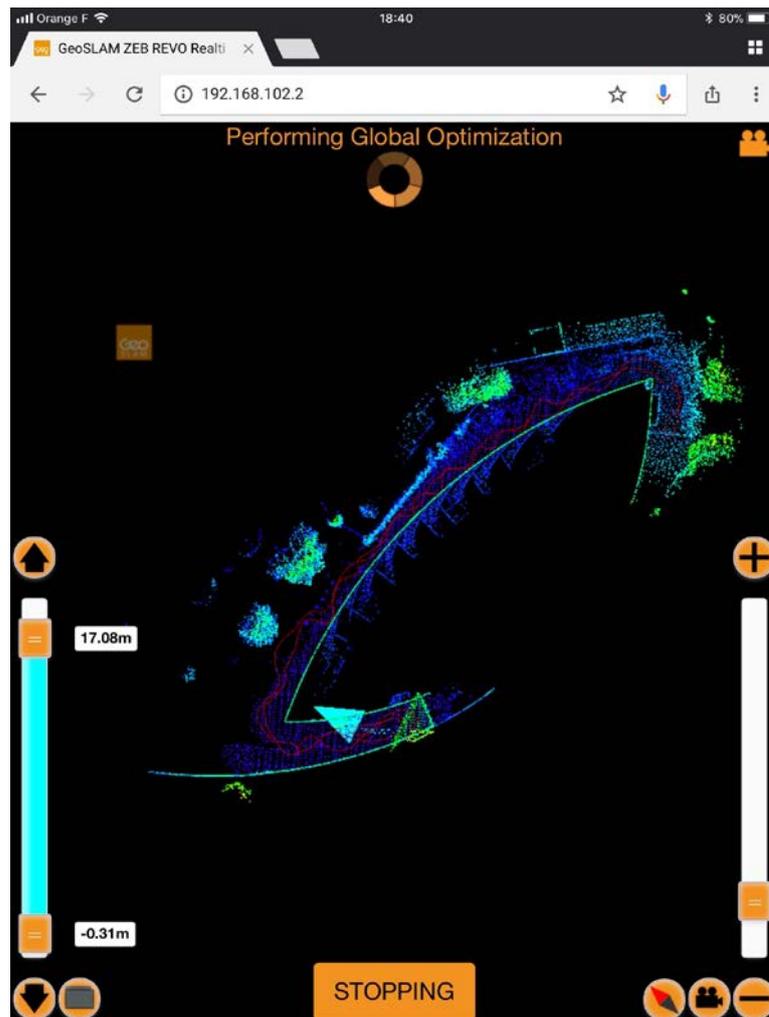


Figura 52 – Schermata da software Hub di GeoSLAM utilizzato per la sincronizzazione dei dati acquisiti per i fronti del Museo. In rosso è visualizzabile la traiettoria percorsa mentre in blu e verde la nuvola di punti.



Figura 53 – Attività di acquisizione degli spazi esterni del Museo con strumento ZEB-REVO, connesso a dispositivo iPad mini 4 per la corretta sincronizzazione.

La stessa procedura è stata eseguita per il rilievo degli interni [Figg. 54 e 55].

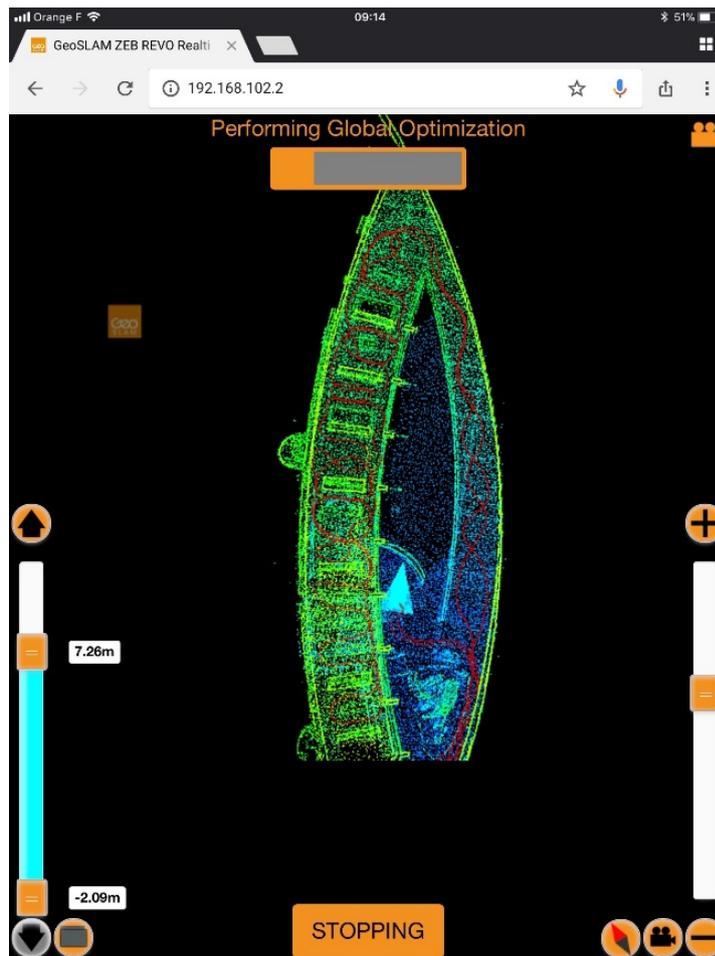


Figura 54 - Schermata da software Hub di GeoSLAM utilizzato per la sincronizzazione dei dati acquisiti per gli spazi interni del Museo. In rosso è visualizzabile la traiettoria percorsa mentre in blu e verde la nuvola di punti.



Figura 55 - Attività di acquisizione degli spazi interni del Museo con strumento ZEB-REVO, connesso a dispositivo iPad mini 4 per la corretta sincronizzazione.

3.1.3 Rilievo fotogrammetrico

I fronti del Museo di Quinson sono stati acquisiti anche con tecnica **fotogrammetrica terrestre**. Nello specifico sono state utilizzate:

- Una camera professionale Nikon D800E [Fig. 56];
- Una camera amatoriale compatta Nikon Coolpix P1 [Fig. 57], con ottica retrattile;
- Un iPad mini 4 [Fig. 58].

Per le caratteristiche tecniche di ciascuno strumento, si rimandi alle tabelle 19, 20 e 21.



Figura 56 – Esempio di camera Nikon D800E.

Fonte: https://www.juzaphoto.com/shared_files/recensioni/nikon_d800e.jpg.

SPECIFICHE TECNICHE	
FORMATO SENSORE E DIMENSIONI	Full-Frame; 36,0 x 24,0
RISOLUZIONE	36,2 megapixel
SENSIBILITA' ISO	50 - 25600
SCHERMO LCD	3,2"; 640 x 480 pixel, fisso
MIRINO E COPERTURA	Ottico; copertura 100%
SCATTI AL SECONDO MAX.	4 FPS
AUTOFOCUS (N. AREE AF)	51
TIPI DI ESPOSIMETRO	Multi-Area, Semi-Spot, Spot
TROPICALIZZAZIONE	Sì
MEMORIA	CF, SD
FLASH INCORPORATO	Sì, portata 12 m
FORMATI FILE	Raw, Jpeg
STABILIZZAZIONE	No
LIVE VIEW	Sì
MODALITA' VIDEO	1920 x 1080 a 30 fps; 1280 x 720 a 60 fps
DIMENSIONI	(146 x 123 x 82) mm
PESO (SOLO CORPO)	900 g

Tabella 19 – Specifiche tecniche della camera Nikon D800E.



Figura 57 – Esempio di camera Nikon Coolpix P1.

Fonte: <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41NGK1MXK4L.jpg>.

SPECIFICHE TECNICHE	
TIPO SENSORE	CCD
RISOLUZIONE	8 megapixel
DIMENSIONE DISPLAY	2,5 pollici
RISOLUZIONE DISPLAY	110000 pixel
MIRINO	Ottico
APERTURA	2,7 - 5,2
SCATTI AL SECONDO MAX.	3 FPS
CONNESSIONE VIDEO	Sì
CONNESSIONE PC	Usb
ZOOM OTTICO	(7,5 - 26,3) mm
FLASH INTERNO	Sì
AUTOSCATTO	Sì
TIPO MEMORIA	Secure digital
MEMORIA INCLUSA	32 Mb
VIDEO	Full-HD 1920 x 1080 (fino a 30 fps)
USCITA HDMI	Sì
DIMENSIONI	(152 x 113,5 x 75) mm
PESO (SOLO CORPO)	170 g

Tabella 20 – Specifiche tecniche della camera Nikon Coolpix P1.



Figura 58 – Esempio di dispositivo iPad mini 4.

Fonte: https://i5.walmartimages.ca/images/Large/862/9_2/999999-888462368629_2.jpg?odnBound=460.

SPECIFICHE TECNICHE	
MEMORIA	128 GB
DISPLAY	Display retina multi-touch retroilluminato LED da 7,9" (diagonale); 2048 x 1536 pixel a 326 ppi
FOTOCAMERA	8 MP; panorama (fino a 43 MP); autofocus
HDR	Automatico per le foto
DIAFRAMMA	Con apertura f/2,4
VIDEO	Registrazione video HD a 1080 p (30 fps); video in slow-motion (120 fps); video time-lapse con stabilizzazione
SCHEDA SIM	Nano-SIM (compatibile con Apple SIM)
GEOLOCALIZZAZIONE	Bussola digitale; Wi-Fi; Microlocalizzazione iBeacon
SENSORI	Touch ID; giroscopio a tre assi; accelerometro; barometro; sensore di luce ambientale
ALIMENTAZIONE	Ricarica tramite alimentatore o tramite computer via USB
CONSUMO DI ENERGIA	Batteria ricaricabile integrata ai polimeri di litio da 19,1 Wh
DURATA DELLA BATTERIA	Fino a 10 ore di navigazione Wi-Fi, riproduzione video o audio
PESO	298,8 g
DIMENSIONI	(203,2 x 134,8 x 6,1) mm

Tabella 21 – Specifiche tecniche del dispositivo iPad mini 4.

Con la camera Nikon D800E sono stati acquisiti 444 fotogrammi, mentre con la Coolpix P1 solo 180, tutti relativi alla facciata in pietra che costeggia l'ingresso principale al Museo.

Con un dispositivo iPad mini 4, sono stati fotografati due beni mobili contenuti nel caso oggetto di studio; nello specifico si tratta di un vaso preistorico e una mandibola di un animale risalente alla medesima epoca.

Per l'acquisizione della mandibola sono stati scattati 179 fotogrammi, mentre per l'acquisizione del vaso 121.

Occorre sottolineare che per ciascuna delle acquisizioni eseguite con tecnica fotogrammetrica terrestre, sono stati scattati fotogrammi con diversa inclinazione dell'asse della camera.

Stessa strategia è stata adottata per l'acquisizione con tecnica **fotogrammetrica aerea**.

In questo caso sono stati utilizzati:

- Un mini drone DJI Spark [Fig. 59];
- Un drone DJI Phantom 4 Pro [Fig. 60].

Per le caratteristiche tecniche dei due dispositivi UAV, si rimandi alle tabelle 22 e 23.



Figura 59 – Esempio di mini drone DJI Spark.

Fonte:

https://www.solodigitali.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/g/r/green_2.jpg

SPECIFICHE TECNICHE	
DIMENSIONI	(143 x 143 x 55) mm
GPS INTERNO	Sì
VELOCITA' MAX.	50 km/h
PESO	300 g
AUTONOMIA	16 minuti
SENSORE	CMOS da 1/2,3 pollici
GIMBAL	A due assi
RISOLUZIONE VIDEO	1080 pixel
RISOLUZIONE FOTO	12 megapixel

Tabella 22 – Specifiche tecniche del mini drone DJI Spark.



Figura 60 – Esempio di drone DJI Phantom 4 Pro.

Fonte: https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/519Y9OGrr7L_SL1200_.jpg

SPECIFICHE TECNICHE	
DIMENSIONI	(300 x 300 x 150) mm
POSIZIONAMENTO SATELLITARE	Dual band (GPS e GLONASS)
TELEMETRI A ULTRASUONI	2 rivolti verso il basso
PIATTAFORME INERZIALI IMU	2
VELOCITA' MAX.	72 km/h
PESO	1,2 kg
AUTONOMIA	30 minuti
SENSORE	CMOS da 1 pollice
GIMBAL	A 3 assi
RISOLUZIONE VIDEO	4K UHD a 60 fps
RISOLUZIONE FOTO	20 megapixel

Tabella 23 – Specifiche tecniche del drone DJI Phantom 4 Pro.

Il mini drone DJI Spark è stato pilotato manualmente con lo scopo di acquisire i fronti del Museo; in particolare, tale dispositivo UAV ha scattato 174 fotogrammi.

Nel caso del drone DJI Phantom 4 Pro, al fine di eseguire un rilievo più accurato del tetto, sono stati pianificati e successivamente eseguiti:

- Due voli nadirali incrociati [Fig. 61];
- Due voli incrociati con fotocamera obliqua a 45° [Fig. 61];
- Un volo circolare [Fig. 61].



Figura 61 – Differenti piani di volo previsti per il drone DJI Phantom 4 Pro. Schermate da software Mission Planner.

Fonte: Planning of survey of Musée de la Préhistoire, QUINSON (FR), A. Lingua et al.

Nello specifico è stata impostata un'altezza di volo di circa 40 m per i circa 10 mm di GSD¹⁴.

Nel caso di volo nadirale è stato acquisito un totale di 194 fotogrammi; per i voli con fotocamera inclinata sono state scattate 207 immagini, mentre per quello orbitale solo 53.

3.2 Il caso studio di Tolentino

Il caso studio di Tolentino, una città delle Marche, riguarda la Basilica di San Nicola [Fig. 62], una Chiesa che ha risentito dei danni dovuti al sisma del 2016. Da allora il *team* DIRECT del Politecnico di Torino ha effettuato diverse campagne di rilievo, l'ultima delle quali svoltasi nel Settembre 2018, alla quale ho partecipato in prima persona.



Figura 62 – La facciata della Basilica di San Nicola da Tolentino (a sinistra), il chiostro (in alto a destra) e l'interno (in basso a destra).

Fonte: https://it.wikipedia.org/wiki/Basilica_di_San_Nicola_da_Tolentino.

¹⁴ *Ground Sample Distance*.

Essendo già state effettuate altre campagne di rilievo, la più recente attività di acquisizione dati ha visto impegnata solamente la giornata del 6 Settembre 2018.

Di seguito si illustrino in uno schema riassuntivo le tecniche di rilievo adoperate e le conseguenti procedure applicative scelte [Fig. 63].

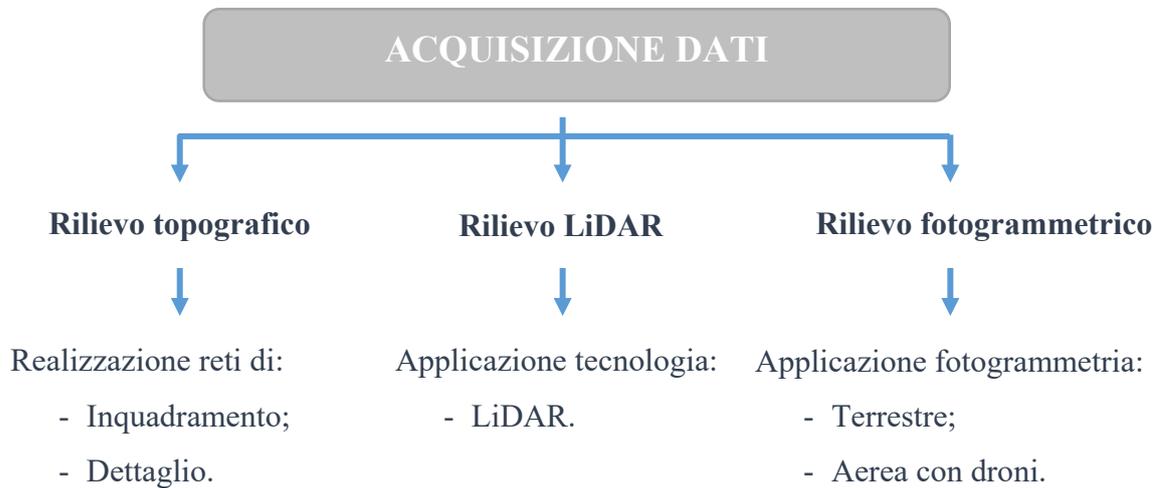


Figura 63 – Modalità operative riguardanti la fase di acquisizione dati.

Oggetto di rilevamento sono state le piazze nei dintorni della Basilica:

- Piazza S. Nicola, sulla quale si affaccia il fronte principale della Chiesa [Fig. 64];
- Piazza Domenico Silveri, alle spalle del caso studio, nella zona dell'abside [Fig. 64];
- Piazza S. Vincenzo M. Strambi, alle spalle della Concattedrale di San Catervo [Fig. 64].

Il *team* di lavoro è stato dunque suddiviso in tre gruppi, ciascuno dei quali ha applicato le diverse tecniche di rilevamento nelle piazze sopra citate.

Le piazze antistanti e retrostanti la Basilica, erano già state sottoposte all'acquisizione di dati; partendo da queste, ci si è estesi lungo Via Guglielmo Oberdan, fino a incontrare Corso Giuseppe Garibaldi e proseguirlo in entrambe le direzioni, Via San Nicola e Vicolo San Pietro [Fig. 65].

Dunque Piazza S. Nicola e Piazza Domenico Silveri sono state soggette esclusivamente a tecniche di rilevamento speditive, realizzando una rete di dettaglio, mentre per Piazza S. Vincenzo M. Strambi sono state eseguite tutte le tecniche illustrate in figura 63.



Figura 64 – Indicazione delle tre Piazze sulle quali hanno lavorato i tre gruppi del team DIRECT.

1) Piazza S. Nicola; 2) Piazza Domenico Silveri; 3) Piazza S. Vincenzo M. Strambi.

Schermata da Google Earth Pro.



Figura 65 – Indicazione delle vie circostanti la Basilica di San Nicola a Tolentino (MC).

Schermata da Google Earth Pro.

3.2.1 Rilievo topografico

Per una maggiore comprensione dei punti rilevati da precedenti acquisizioni, si è scelto di riportare un'immagine che ritraesse le reti di inquadramento e raffittimento realizzate in passato e di evidenziare i vertici a cui si è fatto riferimento nell'ultima campagna di rilievo [Fig. 66].

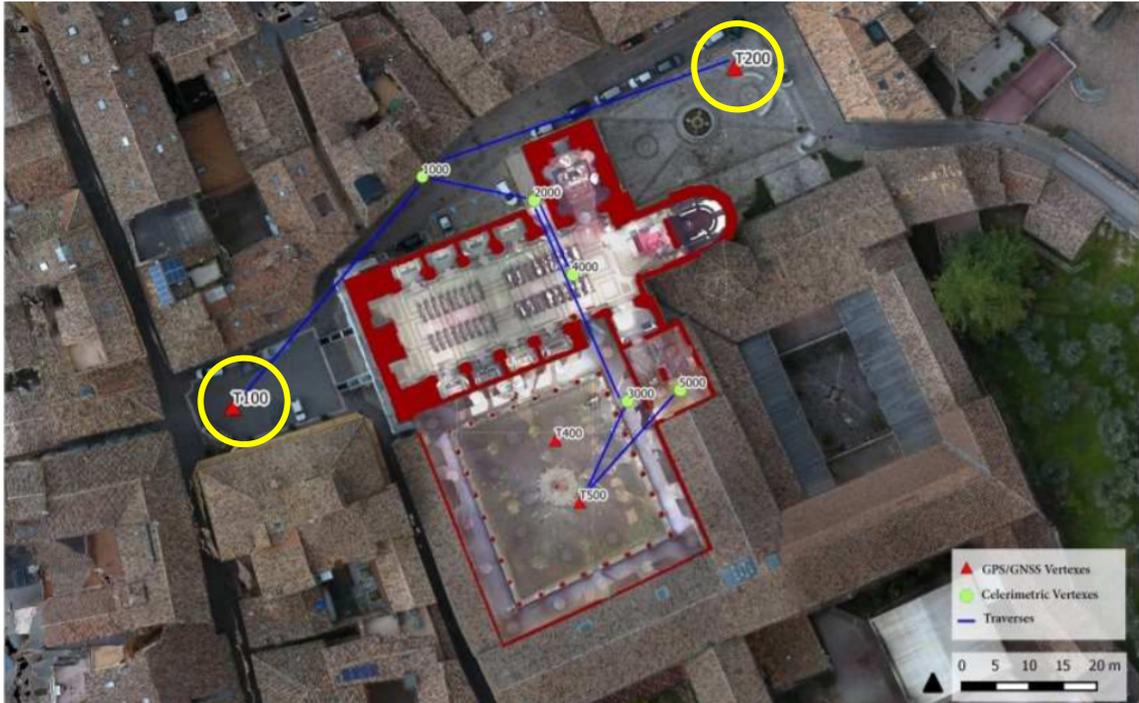


Figura 66 – Schema riassuntivo dei punti acquisiti per il caso studio di Tolentino durante precedenti campagne di rilievo, con indicazione dei vertici “T100” e “T200” a cui ci si è agganciati per la nuova attività del team DIRECT.

Fonte: <https://webthesis.biblio.polito.it/8001/1/tesi.pdf>¹⁵.

Dopo aver posizionato i *marker* sulle pareti della Basilica di San Nicola e degli edifici circostanti, sono state utilizzate le stazioni totali Leica TS 02 e 06 rispettivamente sui vertici “T100” e “T200”. Tali strumenti sono stati dunque orientati verso i punti di

¹⁵ La presente immagine è stata estratta dalla tesi dal titolo “*From point cloud based models to VR visualization for Cultural Heritage at risk: St. Nicola Church in Tolentino*”, figura 5.32, p. 151.

Autrice: C. Borriello; relatori: Prof. F. Chiabrando, Prof.ssa A. Spanò.

coordinate incognite, caratterizzati per l'appunto dai *target* su parete, i quali hanno definito la **rete di dettaglio**.

Nella Piazza di S. Nicola sono stati posizionati otto *marker* e registrati con prefisso "T", seguito da numeri che progressivamente vanno da "1" a "8".

A corredo dell'operazione di rilievo è stato eseguito un eidotipo, in cui sono stati inseriti la posizione e il nome corrispondente per ogni *target* [Fig. 67].

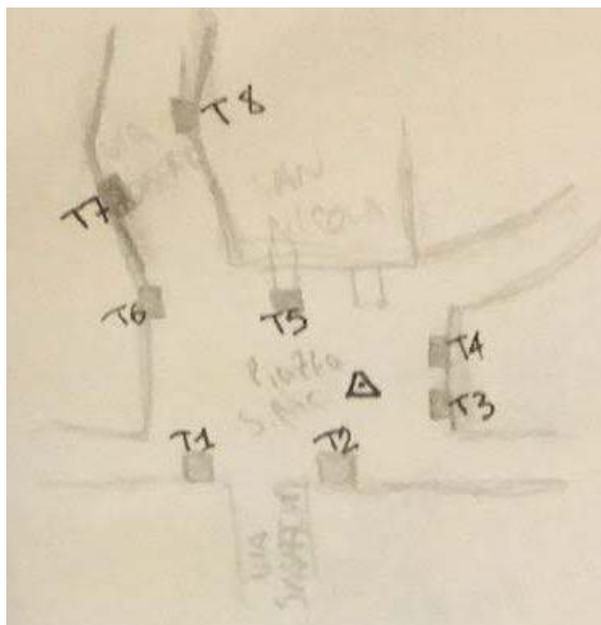


Figura 67 – Eidotipo redatto dal team DIRECT durante lo stage di Settembre, al fine di indicare la posizione dei marker su parete nella Piazza S. Nicola.

Allo stesso modo, si è proceduto con il posizionamento a quote differenziate dei *marker* su parete nella Piazza Domenico Silveri [Fig. 68].



Figura 68 – Posizionamento di marker a scacchiera sulle pareti della Basilica di San Nicola a Tolentino (a sinistra) e degli edifici circostanti (a destra).

Utilizzando la stazione totale TS 06 è stato possibile registrare tali *marker* [Fig. 69], i quali sono stati rinominati opportunamente con prefisso “T” seguito dai numeri da “01” a “12” [Fig. 70].



Figura 69 – Fase di registrazione dei marker mediante strumentazione Leica TS 06 posizionata sul vertice noto “T200” e successiva ripresa fotografica mediante iPad.



Figura 70 – Marker rinominati opportunamente in seguito alla loro registrazione mediante strumentazione Leica TS 02.

Proseguendo lungo Corso Giuseppe Garibaldi, si è giunti nella Piazza S. Vincenzo M. Strambi, in cui sono stati materializzati due nuovi vertici costituenti la **rete di**

inquadramento; per tali punti, rinominati “TOLE 500” e “TOLE 600” [Fig. 71], sono state redatte le relative monografie [Fig. 72], e si è proceduto con l’applicazione delle stesse tecniche topografiche illustrate per il caso di Quinson [vedasi paragrafo 3.1.1].



Figura 71 - Schermata della Concattedrale di San Catervo, Tolentino (MC) da Google Earth Pro.



Figura 72 – Monografie redatte per i vertici “TOLE 500” e “TOLE 600”.

Sui due capisaldi sono dunque stati posizionati dei ricevitori GNSS Leica di tipo 3 e 4, al fine di eseguire un rilievo in modalità statica.

La **rete di dettaglio** è stata realizzata posizionando sugli stessi vertici la stazione totale Leica TS 02, mediante la quale sono stati registrati i *marker* sulle pareti posteriori della Concattedrale di San Catervo [Fig. 71] e sugli edifici limitrofi; ciascuno di essi è stato rinominato con l'acronimo "T" seguito dai numeri "101" fino a "114" [Fig. 73].

Inoltre sono stati registrati punti naturali coincidenti con gli spigoli individuati sui tetti della Concattedrale e degli edifici circostanti, rinominandoli con il prefisso "F" seguito da numeri progressivi che vanno da "1" a "12" [Fig. 73].

In figura 73 si è scelto di riportare l'eidotipo realizzato, utile per una migliore comprensione dei dati acquisiti durante tale rilievo celerimetrico.

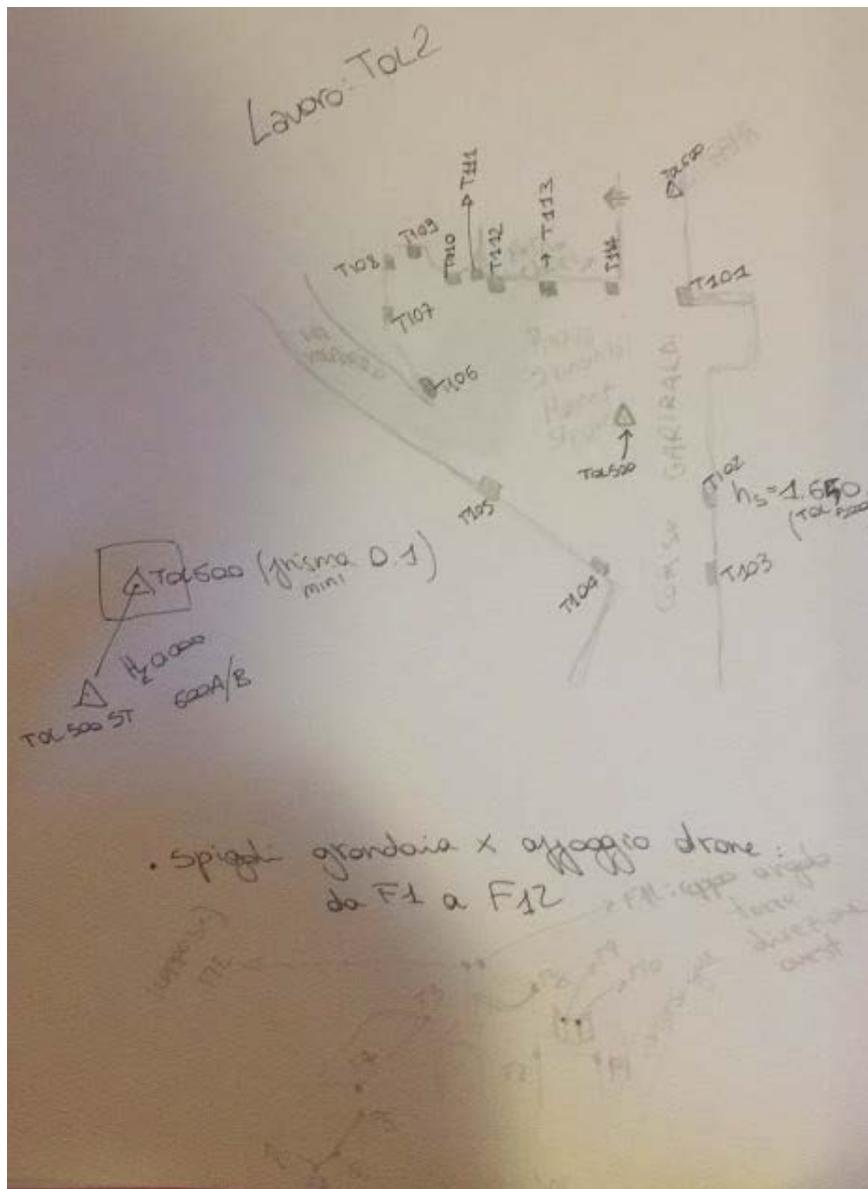


Figura 73 – Eidotipo raffigurante i punti artificiali e naturali registrati con stazione totale.

Così come nel caso studio del Quinson, anche a Tolentino è stata effettuata la triangolazione con mini prisma 360.

3.2.2 Rilievo LiDAR

Nella Piazza S. Nicola sono state eseguite sei scansioni *laser*, utilizzando lo strumento FARO Focus 3D multisensore 120 [Fig. 74]. E' dotato di un sensore attivo, definito a "misura diretta" fisso o terrestre, in grado di captare i *target* posizionati sulle pareti dell'edificio oggetto del rilievo e che costituiscono i punti della rete di dettaglio.

Trattandosi di un distanziometro privo di prisma, il funzionamento dello strumento si basa sulla emissione ripetuta di impulsi (*laser*), mediante i quali poter stimare una distanza in relazione al tempo di volo, in inglese denominato con l'acronimo TOF, "*Time Of Flight*¹⁶"; tale **tecnica** di rilevamento è definita per l'appunto **LiDAR**.



Figura 74 – Esempio di strumento FARO Focus 3D MS 120.

Fonte: <http://www.3dtarget.it/eu/images/stories/virtuemart/product/S-6-S-120.png>.

All'interno dello strumento è inoltre presente uno specchio che ruota [Fig. 74], il quale è in grado di imporre la direzione lungo cui punta il *laser* sulle pareti dell'oggetto del rilievo.

¹⁶ Tempo che l'impulso impiega per compiere il percorso di andata, fino alla parete dell'edificio considerato, e quello di ritorno allo strumento.

Tale impulso è costituito da un raggio o un fascio di luce che viene proiettato direttamente sulle pareti dell'edificio; dalla misura del tempo di volo, è possibile risalire a una stima della distanza.

Per una maggiore caratterizzazione dello strumento, si rimandi alla tabella 24.

SPECIFICHE TECNICHE	
INTERVALLO DI NON AMBIGUITA'	153,49 m
PORTATA	0,6 m - 120 m <i>indoor</i> o <i>outdoor</i> con poca luce ambientale e incidenza normale su superficie riflettente (90%)
ERRORE DI DISTANZA LINEARE	± 2 mm a 10 m e 25 m, con una riflettività del 90% e 10%
RISOLUZIONE	Fino a 70 megapixel a colori
FUNZIONALITA' COLORE DINAMICA	Adeguamento automatico della luminosità
CAMPO VISIVO (VERT./ORIZZ.)	300°/360°
MAX VELOCITA' DI SCANSIONE VERT.	5820 rpm o 97 Hz
POTENZA LASER (CW)	20 mW (<i>laser</i> classe 3R)
LUNGHEZZA D'ONDA	905 nm
DIVERGENZA DEL RAGGIO	0,19 mrad (0,011°)
DIAMETRO DEL RAGGIO (IN USCITA)	3,0 mm , circolare
MEMORIZZAZIONE DEI DATI	Scheda da 32 GB inclusa nella fornitura
CONTROLLO DELLO SCANNER	Tramite <i>touchscreen</i> e WLAN
NUOVO ACCESSO WLAN	Il comando a distanza dello scanner, la visualizzazione e il <i>download</i> delle scansioni sono possibili su dispositivi <i>mobile</i> con Flash
COMPENSATORE BIASSIALE	Fornisce per ogni scansione informazioni relative al livello; precisione 0,015°; range di misurazione ± 5°
SENSORE DI ALTEZZA	Grazie a un barometro elettronico è possibile determinare per ogni scansione l'altezza relativa rispetto a un punto di riferimento
BUSSOLA	La bussola elettronica individua l'orientamento della scansione. È inoltre disponibile una funzione di calibrazione
ALIMENTAZIONE	19 V (alimentazione esterna) 14,4 V (batteria interna)
CONSUMO DI ENERGIA	40 W o 80W (in fase di ricarica della batteria)
DURATA DELLA BATTERIA	Fino a 5 ore
PESO	5 kg
DIMENSIONI	(240 x 200 x 100) mm
SENZA PARALLASSE	Sì

Tabella 24 – Specifiche tecniche del laser scanner FARO Focus 3D MS 120.

Di seguito si illustri dove è stato posizionato lo strumento, con associata la numerazione, dipendente dall'ordine con cui sono state eseguite le scansioni [Fig. 75].



Figura 75 – Indicazione delle scansioni laser eseguite nella Piazza S. Nicola con strumentazione FARO Focus 3D MS 120.

Nella Piazza Domenico Silveri è stato invece utilizzato il *laser scanner* FARO Focus X330 [Fig. 76], simile al precedente, ma con portata massima raggiungibile pari a 330 m; per le specifiche tecniche si rimandi alla tabella 25.



Figura 76 – Esempio di strumento FARO Focus X330.

Fonte: <http://www.3dtarget.it/eu/images/stories/virtuemart/product/S-7-330.png>.

SPECIFICHE TECNICHE	
INTERVALLO DI NON AMBIGUITA'	Da 122 fino a 488 kpts/sec.: 614 m; a 976 kpts/sec.: 307 m
PORTATA	0,6 m - 300 m <i>indoor</i> o <i>outdoor</i> con incidenza verticale su superficie riflettente (90%)
ERRORE DI DISTANZA LINEARE	± 2 mm
RISOLUZIONE	Fino a 170 megapixel a colori
HDR	Registrazione immagine High Dynamic Range (HDR), 3x / 5x
CAMPO VISIVO (VERT./ORIZZ.)	300°/360°
MAX VELOCITA' DI SCANSIONE VERT.	5820 rpm o 97 Hz
CLASSE LASER	Laser classe 1
LUNGHEZZA D'ONDA	1550 nm
DIVERGENZA DEL RAGGIO	0,19 mrad (0,011°)
DIAMETRO DEL RAGGIO (IN USCITA)	2,25 mm
MEMORIZZAZIONE DEI DATI	Scheda da 32 GB inclusa nella fornitura
CONTROLLO DELLO SCANNER	Tramite <i>touchscreen</i> e WLAN
NUOVO ACCESSO WLAN	Il controllo e la visualizzazione delle scansioni a distanza sono possibili su dispositivi <i>mobile</i> con Flash e HTML5
COMPENSATORE BIASSIALE	Fornisce per ogni scansione informazioni relative al livello; precisione 0,015°; range di misurazione ± 5°
SENSORE DI ALTEZZA	Grazie a un barometro elettronico è possibile determinare per ogni scansione l'altezza relativa rispetto a un punto di riferimento
BUSSOLA	La bussola elettronica individua l'orientamento della scansione. È inoltre disponibile una funzione di calibrazione
GPS	Ricevitore GPS integrato
ALIMENTAZIONE	19 V (alimentazione esterna) 14,4 V (batteria interna)
CONSUMO DI ENERGIA	40 W o 80W (in fase di ricarica della batteria)
DURATA DELLA BATTERIA	Fino a 4,5 ore
PESO	5,2 kg
DIMENSIONI	(240 x 200 x 100) mm
PARALLASSE	<i>Design</i> co-assiale

Tabella 25 – Specifiche tecniche del laser scanner FARO Focus X330.

Nello specifico sono state eseguite sette scansioni, nell'ordine con cui risultano rappresentate in figura 77.



Figura 77 - Indicazione delle scansioni laser eseguite nella Piazza Domenico Silveri con strumentazione FARO Focus X330.

Nel caso di Piazza S. Vincenzo M. Strambi, sono state effettuate cinque scansioni con strumento FARO Focus 3D MS 120 [Fig. 74], così come illustrato in figura 78.



Figura 78 - Indicazione delle scansioni laser eseguite nella Piazza S. Vincenzo M. Strambi con strumentazione FARO Focus X330.

In merito all'applicazione di tecnica LiDAR, nel caso studio di Tolentino è stato inoltre utilizzato lo strumento Leica BLK360 [Fig. 79], il quale richiede tempi di acquisizione decisamente inferiori rispetto ai *laser* scanner della FARO.



Figura 79 - Esempio di strumento Imaging Laser Scanner Leica BLK360.

Fonte:

https://www.sccsurvey.co.uk/media/catalog/product/cache/1/image/800x/10403905f6d1165665e73b29646fc5ad/1/e/leica_blk360_led.jpg

Si tratta del più piccolo *laser* scanner 3D al mondo, facilmente trasportabile, maneggevole e di semplice utilizzo, con sistema di *imaging* sferico integrato e sensore termografico con funzione panorama.

E' in grado di realizzare uno *streaming* in tempo reale di immagini e nuvole di punti acquisiti, di visualizzare e modificare sempre in tempo reale i dati, e di misurare automaticamente l'inclinazione.

Ciò che differenzia il *laser* scanner Leica sopra citato dalla strumentazione FARO, risiede dunque nel fatto che per quest'ultima, l'acquisizione dei dati avviene in maniera automatizzata, per cui l'operatore non può monitorare il processo di rilevamento; può solamente decidere il numero di scansioni da eseguire e il punto in cui posizionare lo strumento, valutandone la portata a disposizione.

Questo è il motivo per cui durante l'applicazione di tecniche LiDAR si è proceduto al tracciamento di disegni a mano libera, in cui definire indicativamente la posizione in planimetria delle scansioni eseguite.

Al fine di conoscere tutte le specifiche tecniche del *laser* scanner Leica BLK360, si rimandi alla tabella 26 sottostante.

SPECIFICHE TECNICHE	
ALLOGGIAMENTO	Alluminio anodizzato nero
DIMENSIONI	Altezza: 165 mm; diametro: 100 mm
PESO	1 kg
MONTAGGIO	Sgancio rapido con la pressione di un pulsante
AVVIO STAND-ALONE	Tramite pulsante singolo
AVVIO REMOTO	App per iPad, Apple iPad Pro 12,9" o 10,5"; IOS 10 o versioni successive
COMUNICAZIONE WIRELESS	WLAN integrata (802,11 b/g/n)
MEMORIA INTERNA	Spazio sufficiente per oltre 100 acquisizioni
TIPO DI BATTERIA	Batteria interna ricaricabile agli ioni di litio (Leica GEB212)
AUTONOMIA	In genere più di 40 acquisizioni
SISTEMA DI MISURAZIONE DELLA DISTANZA	Sistema ad alta velocità con tecnologia WFD
CLASSE LASER	1 (secondo le direttive IEC 60825-1;2014)
LUNGHEZZA D'ONDA	830 nm
CAMPO VISIVO	360° (orizzontale); 300° (verticale)
PORTATA	Da 0,6 m a 60 m
FREQUENZA DI ACQUISIZIONE	360000 punti al secondo
PRECISIONE	4 mm a 10 m; 7 mm a 20 m
MODALITA' DI ACQUISIZIONE	3 modalità selezionabili dall'utente
SISTEMA DI FOTOCAMERE	3 fotocamere da 15 Mpixel, risoluzione max 150 Mpx, HDR, flash LED, copertura 360° x 300°
TERMOCAMERA	Fotocamera a infrarossi <i>longwave</i> Immagini panoramiche termografiche, 360° x 70°
VELOCITA' DI ACQUISIZIONE	In meno di 3 minuti acquisisce la nuvola di punti, l'immagine sferica e l'immagine termografica
ACCURATEZZA PUNTO 3D	6 mm a 10 m; 8 mm a 20 m

Tabella 26 – Specifiche tecniche dell'Imaging Laser Scanner Leica BLK360.

Tale strumento è stato adoperato con lo scopo di garantire un collegamento tra le tre piazze rilevate con tecnica LiDAR, e dunque di integrare le scansioni eseguite con strumento Leica a quelle effettuate con i *laser scanner* FARO.

Pertanto l'*Imaging Laser Scanner* Leica BLK360, è stato spostato lungo tutta Via Guglielmo Oberdan, eseguendo un totale di ventuno scansioni, numerate progressivamente da “1” a “21” in figura 80, in funzione dell'ordine con cui sono state eseguite. Nella stessa immagine sono state indicate le posizioni occupate dallo strumento durante la fase di acquisizione dei dati [Fig. 80].

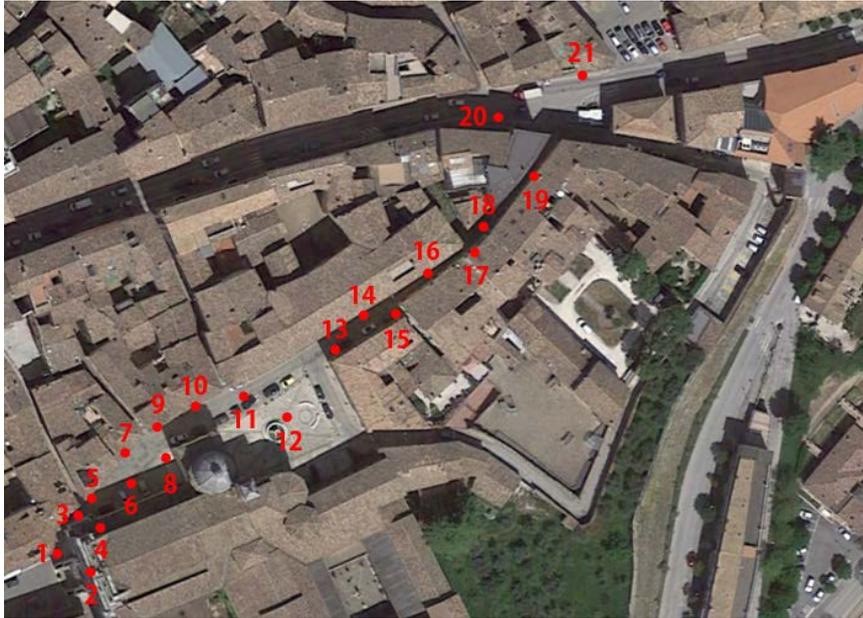


Figura 80 - Indicazione delle scansioni laser eseguite lungo Via Guglielmo Oberdan con strumentazione Leica BLK360.

3.2.3 Rilievo fotogrammetrico

Nelle tre piazze, precisamente sulle pareti della Basilica di San Nicola e della Concattedrale di San Catervo, incluse quelle degli edifici circostanti, sono stati posizionati i *marker*, i quali sono stati rilevati anche con tecnica **fotogrammetrica terrestre**.

In particolare, sono stati utilizzati:

- Una camera professionale Nikon D800E [Fig. 56];
- Un iPad mini 4 [Fig. 58];
- Una GoPro Fusion [Fig. 81].

Per le caratteristiche tecniche di ciascuno strumento, si rimandi alle tabelle 19, 21 e 27.

Con la camera Nikon D800E sono state acquisite 350 immagini, riguardanti le tre aree oggetto di rilievo, mentre con l'iPad sono stati scattati 420 fotogrammi, tutti nella Piazza Domenico Silveri.

Mediante l'utilizzo della GoPro Fusion, dotata di due schede SD (*Front e Back Mask*) [Fig. 81], è stato inoltre possibile acquisire video sferici ad alta risoluzione; in particolare sono stati registrati sette video con la camera anteriore e sette con camera posteriore.



Figura 81 – Esempio di strumento GoPro Fusion (in alto a sinistra) dotato di due schede SD per la ripresa frontale e retrostante (in basso a sinistra).

Fonte: <https://www.gocamera.it/gopro-fusion/fusion>.

SPECIFICHE TECNICHE	
VIDEO SFERICI	5,2K a 30 fps; 3K a 60 fps; <i>time lapse</i> , <i>night lapse</i> e raffiche
FOTO SFERICHE	18 MP; sequenza 30 fps; <i>time lapse</i> , <i>night lapse</i> e raffiche
IMPERMEABILE	Fino a 5 m
SCHEDE SD	Micro-SD
GEOLOCALIZZAZIONE	GPS; bussola
SENSORI	Giroscopio; accelerometro
ALIMENTAZIONE	Batteria per Fusion; cavo USB-C
CONTROLLO VOCALE	Sì
WI-FI	Sì
BLUETOOTH	Sì
STABILIZZAZIONE	Avanzata
PESO	227 g
DIMENSIONI	(40,9 x 66 x 72,9) mm

Tabella 27 – Specifiche tecniche dello strumento GoPro Fusion.

La strumentazione è stata montata su di un casco, il quale è stato indossato da vari studenti dello *stage* organizzato dal *team* DIRECT, e sono state percorse le vie perimetrali alla Basilica e alla Concattedrale [Fig. 82].



Figura 82 – Rilievo eseguito mediante GoPro Fusion montata su caschetto.

A titolo esemplificativo si riporta un fermo immagine estratto da uno dei video eseguiti con strumentazione GoPro Fusion [Fig. 83].



Figura 83 – Fermo immagine estratto da uno dei video eseguiti con GoPro Fusion e salvato nella micro-SD frontale.

Per quanto riguarda l'applicazione di **fotogrammetria aerea**, sono stati utilizzati:

- Due mini droni DJI Spark [Fig. 59];
- Un drone DJI Mavic Pro [Fig. 84].

Per conoscere le caratteristiche tecniche dei due strumenti, si rimandi alle tabelle 22 e 28.

Per praticità, si è scelto di distinguere i due mini droni in funzione del loro colore (verde e giallo); con lo Spark verde, sono state acquisite 425 immagini raffiguranti i fronti delle due Chiese e le pareti degli edifici circostanti, mentre con quello giallo solo 118, questi ultimi tutti relativi a Piazza Domenico Silveri.



Figura 84 – Esempio di drone DJI Mavic Pro pieghevole con radiocomando.

Fonte: https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/51tXA-m1L4L._SL1024_.jpg.

SPECIFICHE TECNICHE	
DIMENSIONI	(450 x 450 x 201) mm
GPS INTERNO	Sì
VELOCITA' MAX.	64 km/h
PESO	726 g
AUTONOMIA	27 minuti
N. SENSORI	5
GIMBAL	A 3 assi
RISOLUZIONE VIDEO	4K UHD a 30 fps; a 96 fps in Full HD
RISOLUZIONE FOTO	12 megapixel

Tabella 28 – Specifiche tecniche del drone DJI Mavic Pro.

Sia i due droni DJI Spark che il DJI Mavic Pro sono stati pilotati manualmente da un operatore. Con quest'ultimo dispositivo UAV sono stati effettuati 15 video, occupando un totale di 21,99 GB di memoria. Tali video hanno ripreso tutto il contesto in cui

risulta inserito il caso studio di Tolentino, estendendosi fino alla zona relativa a Piazza S. Vincenzo M. Strambi.

Si riportano a titolo esemplificativo alcuni *frame* estratti dai video eseguiti con drone DJI Mavic Pro [Fig. 85].



Figura 85 – Strumento DJI Mavic Pro utilizzato per il rilievo fotogrammetrico nella Piazza Domenico Silveri (a sinistra) e relative viste acquisite (a destra).

3.3 Il caso studio di Venezia

Il caso studio nel Comune di Venezia, situato nel sestiere di Cannaregio, è la Chiesa di Santa Maria dei Miracoli [Fig. 86]. La sua particolarità consiste nell’aver uno dei fronti laterali direttamente a contatto con l’acqua di un canale, il Rio dei Miracoli [Fig. 86], il fronte opposto che affaccia su una via stretta, denominata “calle”, e nell’essere totalmente rivestita da marmi policromi, sia esternamente che internamente [Fig. 86].

Si tratta di una Chiesa costruita verso la fine del ‘400, che nel corso degli anni ha subito una serie di interventi di restauro. I due più importanti sono risalenti alla metà dell’800 e alla fine del ‘900, e riguardano la sostituzione e riparazione di alcune lastre esterne in marmo, su cui si erano formati depositi di sale.

Tale Chiesa è stata scelta come caso studio per il progetto ResCult, in quanto rappresenta un esempio di edificio storico - ecclesiastico, di cui si può valutare la vulnerabilità rispetto all'evento principale che riguarda la città lagunare di Venezia, cioè l'inondazione.



Figura 86 – Fronte principale della Chiesa Santa Maria dei Miracoli (in alto a sinistra) e dettaglio marmi policromi in facciata (in basso a sinistra). Interno della Chiesa, vista dal soppalco presente in controfacciata (in basso a destra); zoom sui marmi policromi delle finestre, vista dall'interno (in alto a destra). Fonte: https://www.tripadvisor.it/Attraction_Review-g187870-d313178-Reviews-Santa_Maria_dei_Miracoli-Venice_Veneto.html#photos;aggregationId=&albumid=101&filter=7.

3.3.1 Raccolta del materiale

Per giungere alla modellazione tridimensionale del caso in esame, si avevano a disposizione piante, prospetti e sezioni, in scala 1:50, raccolte dagli architetti Mario Piana e Wolfgang Wolters nel libro “Santa Maria dei Miracoli a Venezia. La storia, la fabbrica, i restauri” e resi a noi disponibili dai *partner* CORILA del progetto ResCult.

A titolo esemplificativo di seguito sono riportati alcuni degli elaborati utilizzati [Fig. 87].

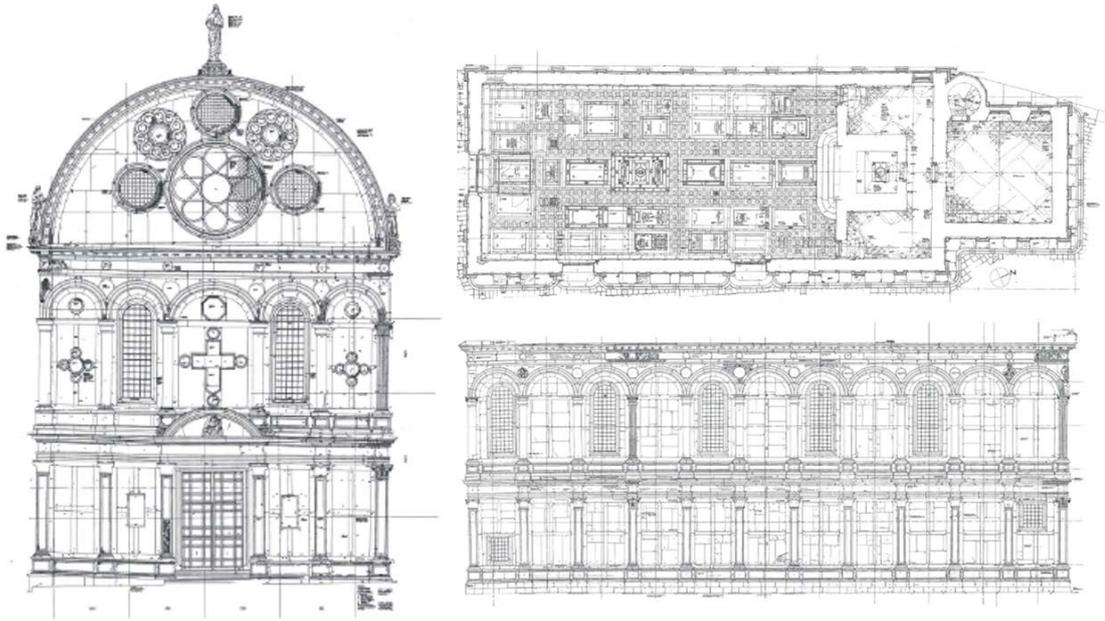


Figura 87 – Esempi di materiale raccolto per procedere alla modellazione tridimensionale della Chiesa. Prospetto del fronte (a sinistra), pianta del piano terra (in alto a destra) e prospetto a contatto con il canale (in basso a destra).

4. Elaborazione dei dati

Ai rilievi con tecnica topografica, LiDAR e fotogrammetrica, segue la fase di elaborazione dati.

In questo capitolo si vogliono delineare per ciascuna modalità di acquisizione adottata e illustrata nel capitolo precedente, le corrispondenti procedure eseguite [vedasi paragrafo 4.1], al fine di ottenere nuvole di punti georiferite per il caso studio di Quinson.

I dati acquisiti in occasione dell'ultima campagna di rilievo a Tolentino non sono ancora stati sottoposti al processamento. Tuttavia, avendo a disposizione il materiale derivante dalle precedenti attività del *team* di Geomatica del Politecnico di Torino, si è scelto di illustrare nel capitolo successivo, inerente la modellazione, anche i risultati raggiunti per questo caso studio.

4.1 Quinson

Per il caso studio situato nel Comune di Quinson, si riporta uno schema riassuntivo delle operazioni svolte [Fig. 88].

In primo luogo sono state effettuate le elaborazioni dei dati acquisiti con tecnica topografica. In particolare è stata calcolata la rete GNSS ed è stata effettuata la compensazione della rete topografica; per le due operazioni sono stati sfruttati due *software* di elaborazione, rispettivamente Leica Geo Office e StarNet.

Il tutto ha consentito di estrarre delle coordinate e di ottenere la georeferenziazione dei punti acquisiti.

In seguito si è proceduto con il processamento dei dati acquisiti con tecnica fotogrammetrica, sia terrestre che aerea. In entrambi i casi è stato utilizzato il *software* Agisoft Photoscan, nel quale sono stati importati e successivamente allineati tutti i fotogrammi.

Tale operazione ha consentito l'ottenimento di una prima nuvola sparsa di punti. Una volta inserite le coordinate dei *marker* e sfruttando i *Ground Control Points*, è stato possibile georiferire ciascun fotogramma e giungere all'elaborazione di nuvole dense di punti.

Queste ultime sono state successivamente utilizzate al fine di georiferire le nuvole dense di punti derivanti dai dati acquisiti con tecnica LiDAR manuale [vedasi paragrafo 3.1.2].

In questa ottica si è usufruito del *software* CloudCompare, uno strumento di elaborazione, che contiene al suo interno un'implementazione dell'algoritmo ICP¹⁷, utilizzato per minimizzare la differenza tra due nuvole di punti.

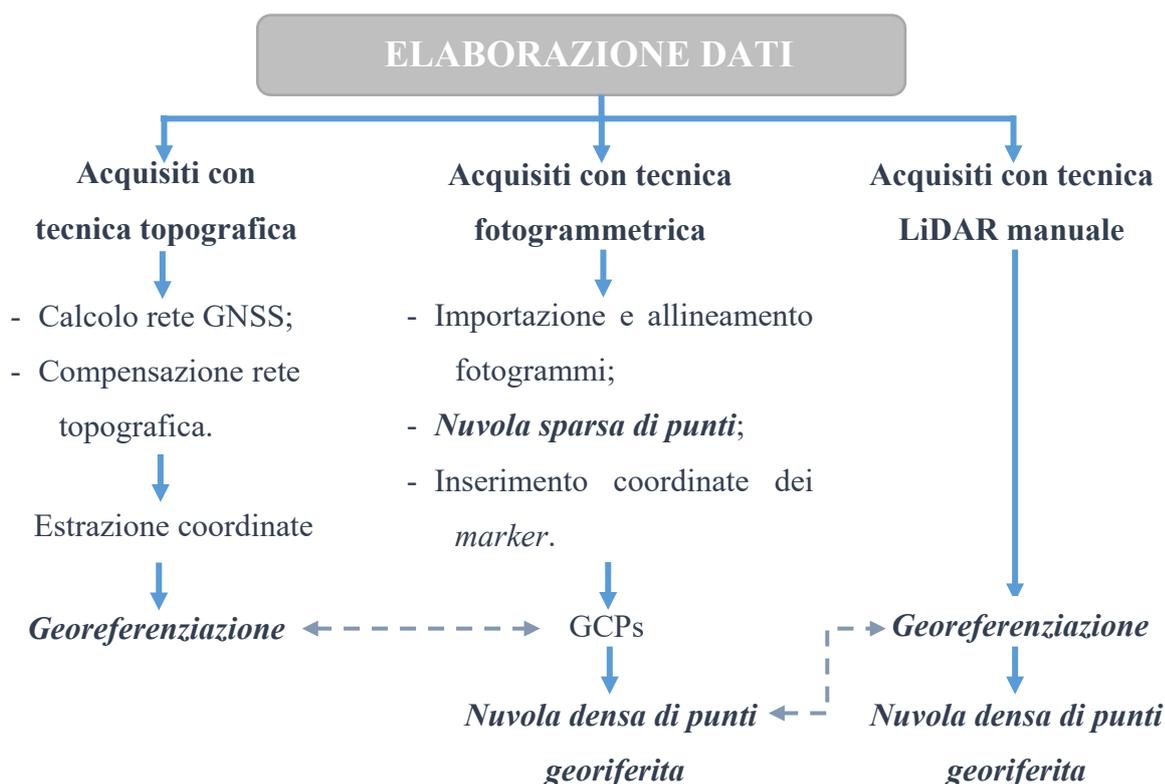


Figura 88 – Sequenza delle fasi operative riguardanti l’elaborazione dei dati. Dall’elaborazione dei dati acquisiti con tecnica topografica, è stato possibile ottenere la georeferenziazione dei punti. Sfruttando i Ground Control Points è stato possibile georiferire ciascun fotogramma e giungere all’elaborazione di nuvole dense di punti. Sulla base di queste ultime, si sono georiferite le nuvole derivanti da acquisizione LiDAR manuale.

4.1.1 Dati acquisiti con tecnica topografica

I ricevitori GNSS posizionati sui quattro vertici della rete di inquadramento, hanno acquisito dati in modalità statica. Tali dati sono stati inseriti all’interno del *software* Leica Geo Office, ed elaborati secondo un posizionamento di tipo relativo.

¹⁷ *Iterative Closest Point*, letteralmente il “punto più vicino iterativo”.

Ciò implica che è stato possibile ricavare la posizione di ciascun ricevitore sui vertici “1000”, “2000”, “3000” e “4000”, con riferimento ad altri di coordinate note. Si tratta delle stazioni permanenti GNSS, le quali sono fisse sul territorio e acquisiscono dati di continuo.

In fase di rilievo, per ciascun ricevitore GNSS, è stato indicato il periodo di inizio e di fine acquisizione dei dati; considerando lo stesso arco temporale in cui sono state eseguite tali acquisizioni e facendo riferimento agli stessi satelliti, sono stati scaricati i dati ricevuti dalle stazioni permanenti scelte.

Le informazioni su tali stazioni, sono state anch'esse inserite all'interno del *software* Leica Geo Office; pertanto, le misure risultano essere i vettori *baseline*, che collegano ciascuna stazione permanente ai ricevitori posizionati sui capisaldi della rete di inquadramento, e hanno consentito di **calcolare** la **rete GNSS**, nonché di determinarne le coordinate.

Da questa operazione di processamento dei dati, è possibile raggiungere precisioni dell'ordine del millimetro ed eliminare gli errori di asincronismo connessi agli orologi dei satelliti, le effemeridi dei satelliti, i ritardi ionosferici e troposferici, e gli altri *bias* legati alle osservazioni GNSS.

Nello specifico, per il caso studio di Quinson, si è fatto riferimento a cinque stazioni permanenti, appartenenti alla rete denominata “*Reseau GNSS Permanent*”, disponibile sul sito dell'IGN¹⁸ francese al *link* che segue: <http://rgp.ign.fr/>.

La scelta delle stazioni permanenti da considerare, è stata fatta in relazione alla vicinanza del Museo, in termini di localizzazione spaziale, rispetto a ciascuna di esse [Fig. 89].

Pertanto sono state selezionate le stazioni:

- “CAMA”, *Cannet-des-Maures*;
- “FAYE”, *Fayence*;
- “GINA”, *Ginaservis*;
- “MICH”, *Saint-Michel-l'Observatoire*;

¹⁸ *Institut national de l'information géographique et forestière* (IGN) (in italiano, Istituto nazionale di informazione geografica e forestale). E' l'ente pubblico dello Stato francese a carattere amministrativo avente il compito di assicurare la produzione, il mantenimento e la diffusione dell'informazione geografica e forestale di riferimento in Francia.

Fonte: [https://it.wikipedia.org/wiki/Institut_g%C3%A9ographique_national_\(Francia\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Institut_g%C3%A9ographique_national_(Francia)).

- “MSMM”, *Moustiers-Sainte-Marie*.



Figura 89 – Schermata del sito dell’IGN francese. Indicazione della posizione delle cinque stazioni permanenti (cerchiate in rosso) e del Museo di Quinson (triangolo nero).

Fonte: <http://rgp.ign.fr/>.

Cliccando su ognuna delle stazioni permanenti indicate in figura 89, è possibile consultarne le informazioni corrispondenti. A titolo esemplificativo si riporta un estratto di ciò che è stato possibile visualizzare sul sito dell’IGN francese per la stazione “MSMM” [Fig. 90].

Occorre sottolineare che le informazioni relative alla stazione permanente “GINA” sono risultate fuori servizio dal giorno 29 Novembre del 2018. Questo giustifica il motivo per cui nella figura 89 l’indicazione della posizione della stazione risulta di colore diverso rispetto alle altre. Come precedentemente detto, la fase di acquisizione dati è stata svolta nel mese di Giugno, pertanto i dati erano ancora disponibili e sono stati utilizzati per procedere con l’elaborazione dati.

MSMM - Moustiers-Sainte-Marie

Identité de la station » | Coordonnées de la station » | Équipement de la station » | Qualité du site » | Qualité des données » | Séries temporelles »

Identité de la station

Renseignements	
Acronyme	MSMM
Nom	Moustiers-Sainte-Marie
Numéro DOMES	19895M001
Mise en service	18/12/2009
Classe »	CPRG
Constellations suivies	GPS+GLONASS
Liste des observables	C1L1D1P2L2D2S1S2
Session d'enregistrement	1h
Cadence d'enregistrement	1s
Propriétaire	EXAGONE
Gestionnaire	EXAGONE
Autres Réseaux	TERIA

Logsheets *

msmm_20180912 (actuel) 👁

* fiches signalétiques au standard international

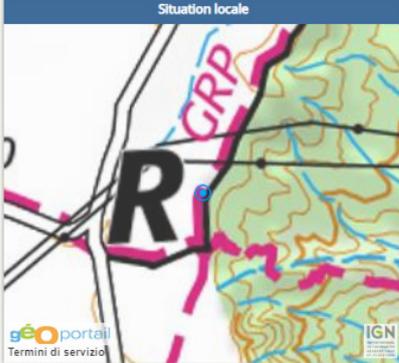
Dernières Infos

Aucune info récente !
[Voir l'historique](#)

Situation générale



Situation locale



Coordonnées de la station

Début validité	Fin validité	Jeux de coordonnées			
		Système	RGF93		
18/06/2010	en cours	Cartésiennes	X	Y	Z
			4583675.915 m	497926.721 m	4393485.940 m
		Géographiques	Longitude	Latitude	Hauteur
			06° 11' 59.11798" E	43° 48' 38.34809" N	797.775 m
		En projection (Lambert-93)	E	N	Altitude (IGN 1969)
	957422.297 m	6306509.518 m	747.19 m		
	Hauteur d'antenne	0.0000 m	Statut de stabilité	Groupe : B	

▼ Historique ▼

Figura 90 – Schermata del sito dell’IGN francese. Informazioni relative alla stazione permanente “MSMM”.

Fonte: <http://rgp.ign.fr/STATIONS/#MSMM>.

Una volta inseriti i dati nel programma di elaborazione e specificati i vertici *master*¹⁹ e *rover*²⁰, è stato possibile ricavare i vettori incogniti corretti.

¹⁹ Coincidenti con le stazioni permanenti GNSS.

²⁰ Coincidenti con i ricevitori posizionati sui vertici della rete di inquadramento.

Di seguito si riportano due schermate raffiguranti i risultati ottenuti con *software* Leica Geo Office 8.4 [Figg. 91 e 92].

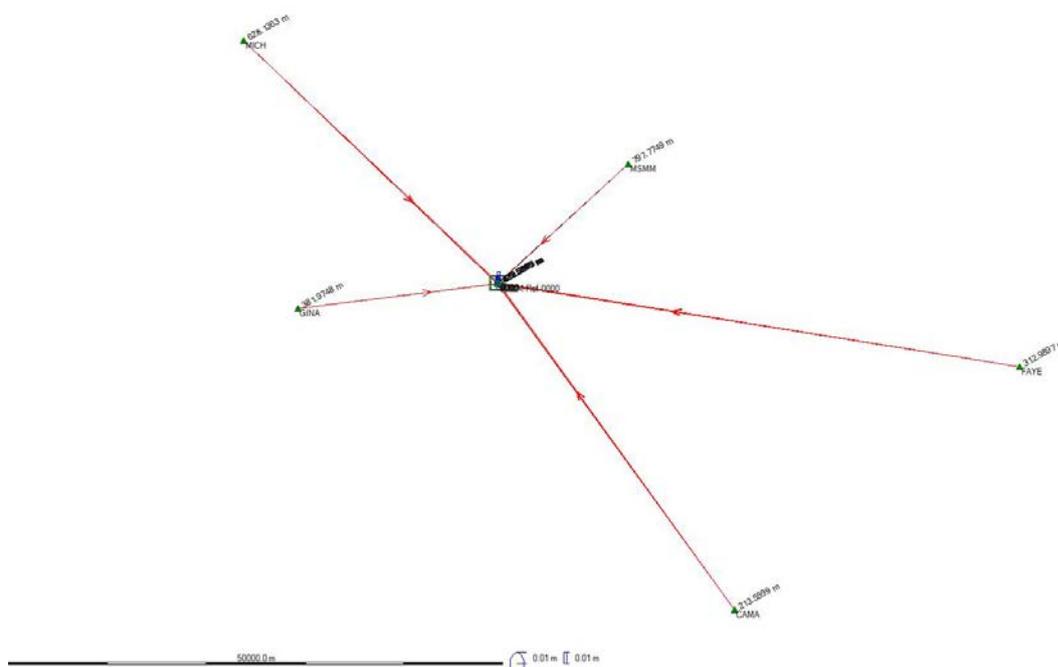


Figura 91 – Calcolo delle baseline. Schermata da Leica Geo Office 8.4 della rete GNSS completa.
Scala delle ellissi di errore pari a 0,01 m e precisione in z pari a 0,01 m.

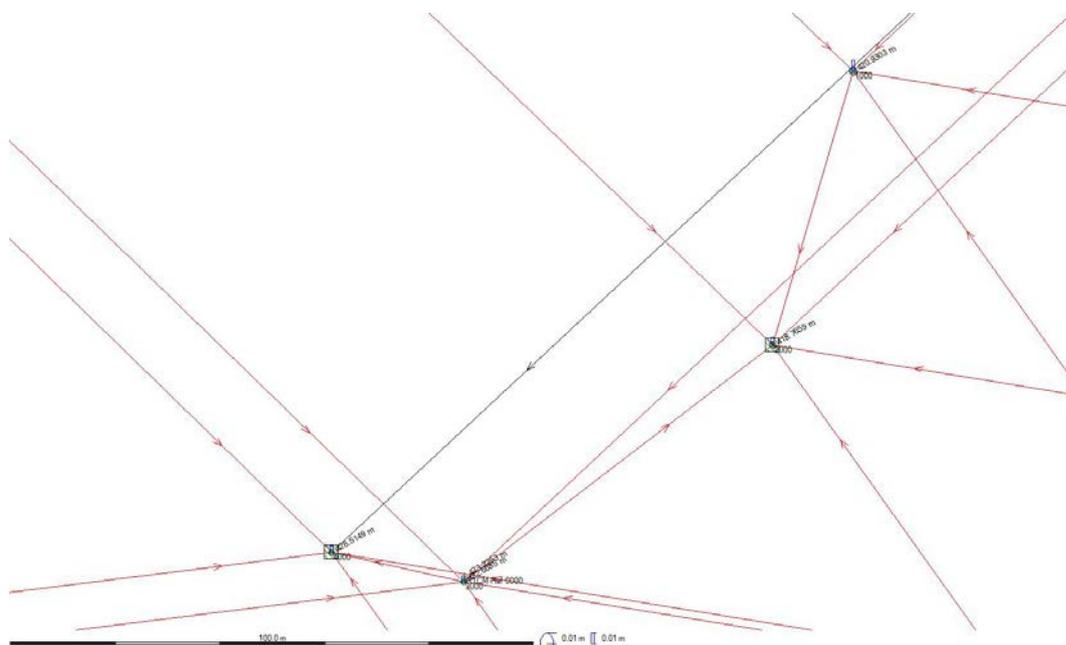


Figura 92 – Calcolo delle baseline. Schermata da Leica Geo Office 8.4 di una porzione della rete GNSS.
Scala delle ellissi di errore pari a 0,01 m e precisione in z pari a 0,01 m.

Ricavate le distanze tra stazione permanente e ricevitori sui capisaldi, lo stesso *software* ha **estratto le coordinate corrette** dei vertici “1000”, “2000”, “3000” e “4000”, fornendole con riferimento all’ellissoide WGS 84, nella rappresentazione cartografica UTM.

Trattandosi di una superficie puramente matematica, essa non tiene conto degli effetti fisici che si verificano sulla superficie terrestre. Pertanto, per gli aspetti altimetrici, è stato necessario considerare come superficie di riferimento il geoide, una superficie equipotenziale che meglio approssima quella reale, in quanto legato alla gravità e alla densità della Terra, e secondo il quale viene definita la cosiddetta quota ortometrica.

Mediante il *software* CIRCE, è stato possibile convertire il dato altimetrico riferendolo al geoide.

Di seguito si riportano i dati relativi ai punti della rete GNSS [Tab. 29].

PUNTO		DATA E ORA	COORDINATE		Sqm [mm]
				[m]	
CAMA	Controllo (Fisso)	06/11/2018 06:59	E	283986,722	0
			N	4808266,975	
			H _{ellissoidica}	213,560	
FAYE	Controllo (Fisso)	06/11/2018 06:59	E	313581,060	0
			N	4832347,913	
			H _{ellissoidica}	312,990	
GINA	Controllo (Fisso)	06/11/2018 06:59	E	240993,399	0
			N	4840874,682	
			H _{ellissoidica}	381,975	
MICH	Controllo (Fisso)	06/11/2018 06:59	E	236475,855	0
			N	4868688,565	
			H _{ellissoidica}	628,136	
MSMM	Controllo (Fisso)	06/11/2018 06:59	E	274776,237	0
			N	4854654,423	
			H _{ellissoidica}	797,775	
1000	Corretto	07/10/2018 18:10	E	261317,554	11,1
			N	4842835,211	
			H _{ellissoidica}	420,930	
2000	Corretto	07/10/2018 18:10	E	261300,510	8,7
			N	4842782,841	
			H _{ellissoidica}	422,669	
3000	Corretto	07/10/2018 18:10	E	261239,869	6,4
			N	4842739,373	
			H _{ellissoidica}	422,669	
4000	Corretto	07/10/2018 18:10	E	261214,948	7,1
			N	4842745,895	
			H _{ellissoidica}	426,515	

Tabella 29 – Report dei risultati ottenuti per il calcolo della rete GNSS.

Dall'esame della tabella 29 si evince che per ciascun vertice della rete di inquadramento è stato ottenuto uno scarto quadratico medio e dunque una precisione dell'ordine del millimetro.

In maniera analoga si è proceduto per l'elaborazione dei dati acquisiti con tecnica RTK; in questo caso i *master* sono rappresentati dai ricevitori posizionati sui capisaldi della rete di inquadramento, mentre i *rover* coincidono con i punti costituenti la rete di raffittimento.

Il *software* LGO è stato in grado di calcolare ciascuna distanza *master-rover* [Fig. 93], definire gli ellissi di errore [Fig. 93], connessi a ciascun punto acquisito con tecnica RTK, e le precisioni in z, rappresentate dagli istogrammi in figura 93; infine, ha estratto le **coordinate corrette** dei punti rilevati.

A tale proposito, si riporta una tabella riassuntiva dei dati ottenuti [Tab. 30]; si tratta di coordinate fornite con riferimento all'ellissoide WGS 84, le quali sono state successivamente convertite mediante *software* CIRCE, al fine di ricavare la quota ortometrica per ciascun punto.

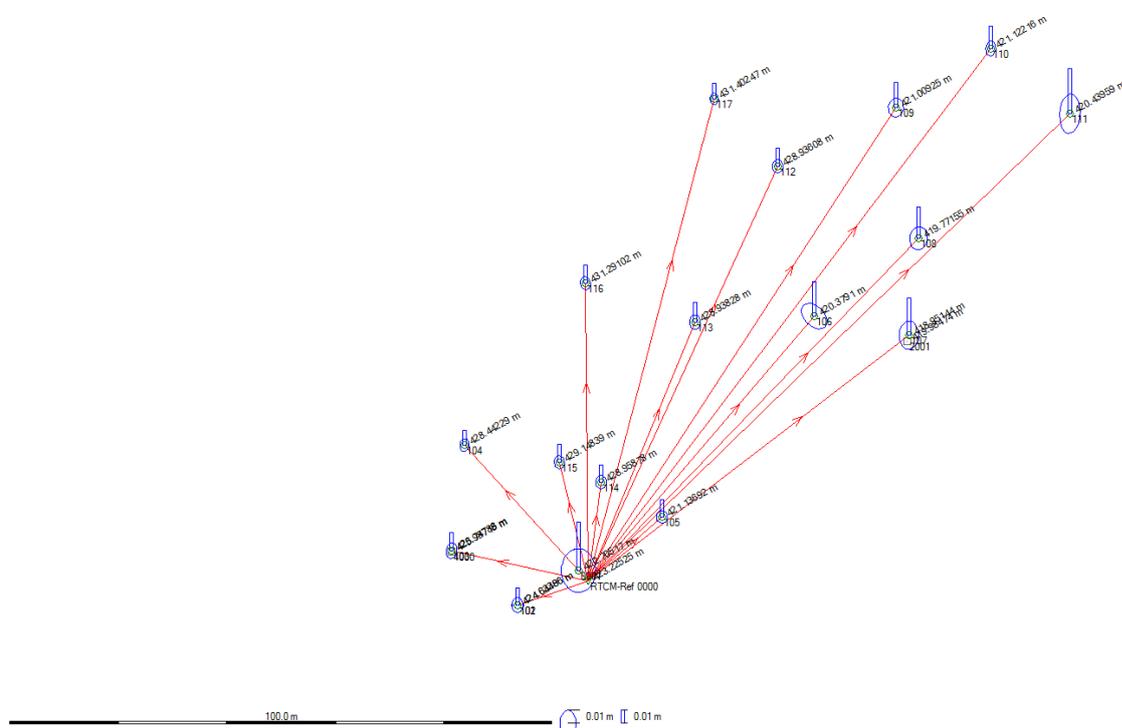


Figura 93 – Calcolo delle baseline (di colore rosso), degli ellissi di errore e delle precisioni in z (entrambe di colore blu). Schermata da Leica Geo Office 8.4; scala delle ellissi di errore pari a 0,01 m e precisione in z pari a 0,01 m.

PUNTO	COORDINATE [m]	
102	E	261226,738
	N	4842735,473
	H _{ellissoidica}	424,437
103	E	261214,947
	N	4842745,892
	H _{ellissoidica}	426,551
104	E	261217,932
	N	4842765,378
	H _{ellissoidica}	428,246
105	E	261253,819
	N	4842750,752
	H _{ellissoidica}	420,940
106	E	261283,291
	N	4842787,012
	H _{ellissoidica}	420,182
107	E	261300,506
	N	4842782,854
	H _{ellissoidica}	418,755
108	E	26302,953
	N	4842800,658
	H _{ellissoidica}	419,575
109	E	261299,722
	N	4842825,055
	H _{ellissoidica}	420,812
110	E	261317,559
	N	4842835,215
	H _{ellissoidica}	420,925
111	E	261331,635
	N	4842822,737
	H _{ellissoidica}	420,243
112	E	261277,551
	N	4842814,856
	H _{ellissoidica}	428,739
113	E	261261,261
	N	4842786,561
	H _{ellissoidica}	428,742
114	E	261242,937
	N	4842757,571
	H _{ellissoidica}	428,762
115	E	261235,401
	N	4842761,596
	H _{ellissoidica}	428,952
116	E	261241,288
	N	4842794,572
	H _{ellissoidica}	431,094
117	E	261266,247
	N	4842827,760
	H _{ellissoidica}	431,206

Tabella 30 – Report dei risultati ottenuti per i punti acquisiti con tecnica RTK.

Il *software* CIRCE è stato inoltre utilizzato al fine di ottenere le coordinate cartografiche nel sistema di riferimento UTM-WGS 84, con fuso di appartenenza “32”.

Il *software* StarNet, ha invece permesso di effettuare la **compensazione della rete topografica** realizzatasi per il caso studio di Quinson. Con questo termine si intende l’insieme di punti, detti vertici della rete, connessi tra di loro da un insieme di misure di distanze e di angoli azimutali e zenitali; tali punti possono essere sia i punti di stazione, che i punti collimati.

Pertanto, in questo *software* è stato possibile inserire in un unico progetto le misurazioni effettuate con stazione totale e strumentazione GNSS, e le coordinate dei vertici della rete GNSS, derivate dalla compensazione della rete principale; il tutto è stato salvato in un *file* di testo `.txt`.

Dopo aver settato una serie di parametri, quali per esempio le unità metriche e quelle angolari, il sistema locale di coordinate, l’ordine con cui queste vengono lette, e le precisioni nominali degli strumenti, si è ottenuto come *output* il grafo della rete compensata.

Nello specifico, la compensazione è stata effettuata ricorrendo al metodo statistico dei minimi quadrati, attuato secondo l’algoritmo delle osservazioni indirette, mediante il quale sono state ricavate le **correzioni** da apportare ai valori presunti delle **coordinate** dei punti; tali incognite sono state determinate ricorrendo a un processo iterativo e ritenute accettabili, nel caso in cui i valori tra due iterazioni consecutive fossero di entità trascurabile.

I dati elaborati sono stati successivamente esportati in formato `.dxf` [Fig. 94].

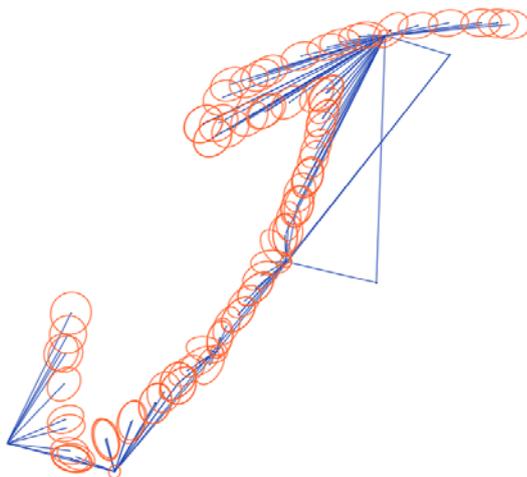


Figura 94 – Schermata da AutoCAD del risultato della compensazione della rete. Indicazione dei rami della poligonale (in blu) e degli ellissi di errore associate a ciascun punto collimato (in arancio).

Aver estratto le coordinate dei punti, significa aver garantito la loro **georeferenziazione**, nonché localizzazione spaziale dell’oggetto del rilievo, all’interno del contesto nel quale risulta inserito.

A titolo esemplificativo, di seguito si riporta una tabella riassuntiva con le coordinate dei capisaldi prima e dopo la compensazione [Tab. 31].

Occorre sottolineare che il dato altimetrico è stato riferito al geode e che l’elaborazione dei dati è stata eseguita per tutti i punti costituenti la rete di dettaglio.

PUNTO	COORDINATE		
		[m]	
1000 (Fisso)	E	261317,554	261317,554
	N	4842835,211	4842835,211
	H _{ortometrica}	370,252	370,252
2000 (Fisso)	E	261300,510	261300,510
	N	4842782,841	4842782,841
	H _{ortometrica}	368,088	368,088
3000 (Fisso)	E	261239,869	261239,870
	N	4842739,373	4842739,373
	H _{ortometrica}	371,990	371,999
4000 (Fisso)	E	261214,948	261214,948
	N	4842745,895	4842745,895
	H _{ortometrica}	375,837	375,837

Tabella 31 – Confronto tra le coordinate dei capisaldi prima (su sfondo giallo) e dopo (su sfondo verde) la compensazione della rete.

4.1.2 Dati acquisiti con tecnica fotogrammetrica

Partendo dalle immagini acquisite con tecnica fotogrammetrica terrestre e aerea, a seguito di una serie di procedure operative, è stato possibile ottenere nuvole di punti georiferite.

Per raggiungere tale obiettivo, è stato utilizzato il *software* Agisoft Photoscan, il quale è in grado di realizzare un modello tridimensionale, sfruttando la tecnica denominata “*Structure from Motion*”, letteralmente “Struttura dal Movimento”. Si tratta di una tecnica utilizzata per l’analisi di struttura di qualunque oggetto reale, e che consiste nel generare un modello 3D, partendo da un insieme di immagini bidimensionali; questa tecnica fa riferimento al fenomeno secondo cui qualsiasi creatura vivente è in grado di ricostruire strutture tridimensionali, partendo da un campo in movimento in proiezione

2D (pixel) di un oggetto, o una scena in movimento. Nel nostro caso è la camera a essere in movimento, e dunque la posizione del suo centro di presa.

Come prima operazione, si è proceduto con l'**importazione** delle **immagini** all'interno del *software*, distinguendole per *chunk*, a seconda delle cartelle in cui risultavano inserite.

Occorre sottolineare che la modalità di processamento dei dati risulta la medesima per entrambe le tecniche di acquisizione.

Attraverso l'algoritmo SIFT, *Scale Invariant Feature Transform*, nelle zone di sovrapposizione tra i fotogrammi, il *software* ha inoltre individuato i punti di legame in comune, nonché i cosiddetti *keypoint*, i quali sono risultati fondamentali ai fini dell'**allineamento** tra gli stessi. I fotogrammi sono stati dunque orientati opportunamente l'uno rispetto all'altro, in un sistema di riferimento locale definito dal *software*, in relazione alla posizione occupata dalla camera al momento dello scatto, ed è stato possibile procedere con la **generazione** di una **nuvola "sparsa" di punti**.

Tale procedura è stata eseguita per ciascuno dei *chunk*, ottenendo un totale di quattro nuvole di punti, tre relative a un *set* di immagini acquisite con tecnica fotogrammetrica terrestre e una ottenuta dal processamento delle immagini scattate con il drone DJI Phantom 4 Pro.

A titolo esemplificativo, di seguito si riporta il risultato iniziale derivante dall'elaborazione delle immagini scattate da drone [Fig. 95].

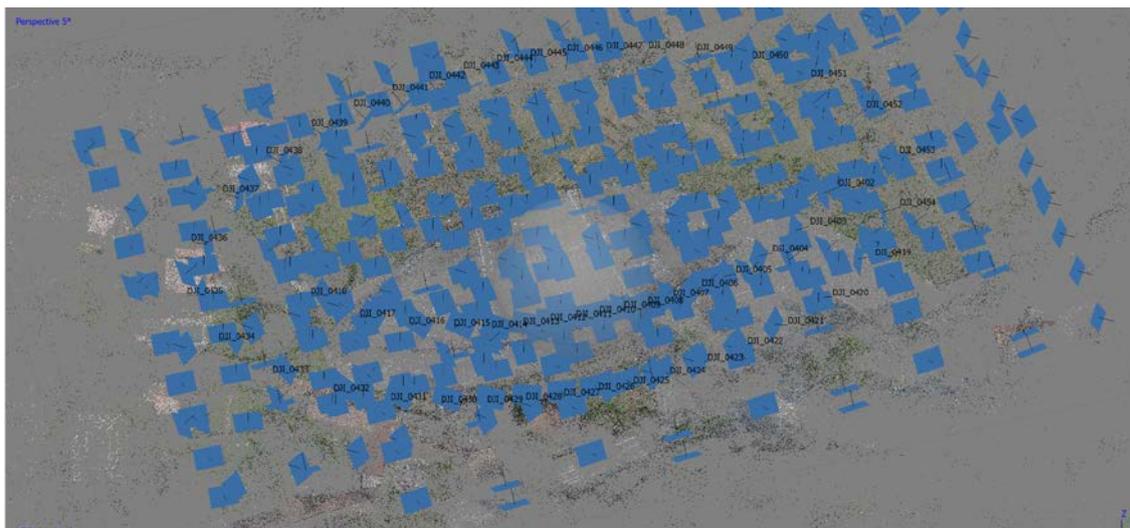


Figura 95 – Schermata dal workspace di Agisoft Photoscan. Esempio di generazione di una nuvola sparsa di punti derivante dall'elaborazione dei fotogrammi acquisiti con drone DJI Phantom 4.

Per i due beni mobili contenuti all'interno del museo e acquisiti sempre con tecnica fotogrammetrica, sono invece state generate due nuvole di punti distinte.

Al fine di garantire la corretta georeferenziazione di ciascuna nuvola, sono state **inserite** all'interno del *software*, prima manualmente e poi automaticamente, le **coordinate dei marker**, effettuando la collimazione di tutti i punti visualizzabili dai fotogrammi.

Inoltre i **GCPs**²¹, i quali erano stati misurati con tecnica topografica, hanno consentito di **ottimizzare** il processo di **georeferenziazione**.

Dopo aver verificato la bontà delle operazioni svolte e dunque valutato che gli scarti residui derivanti dal posizionamento dei *marker* rientrassero nei valori ammissibili²², è stata **generata la nuvola “densa” di punti**, la quale ha consentito di descrivere con maggiore dettaglio l'oggetto rilevato.

Nelle figure 96, 97, 98 e 99 si illustrano i risultati delle quattro nuvole dense ottenute.

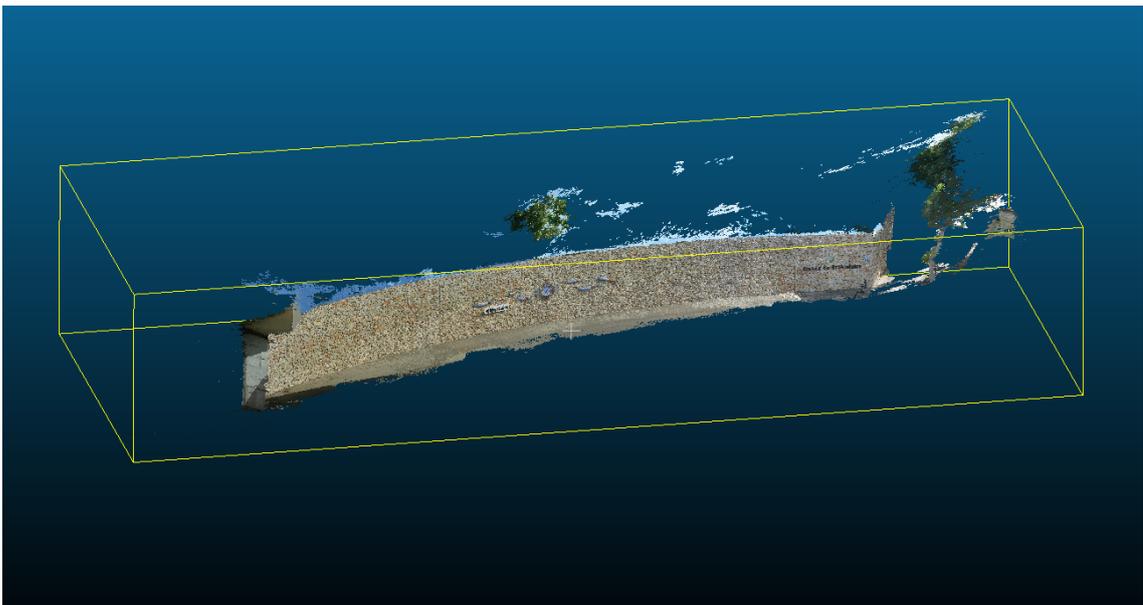


Figura 96 – Schermata da CloudCompare di una delle nuvole dense di punti ottenute dal rilievo con tecnica fotogrammetrica terrestre. Nuvola costituita da circa 30 milioni di punti.

²¹ *Ground Control Points*, nonché punti di controllo a terra.

²² È stato considerato uno residuo massimo ammissibile pari a 0,04 m, corrispondente alla tolleranza della scala 1:100.

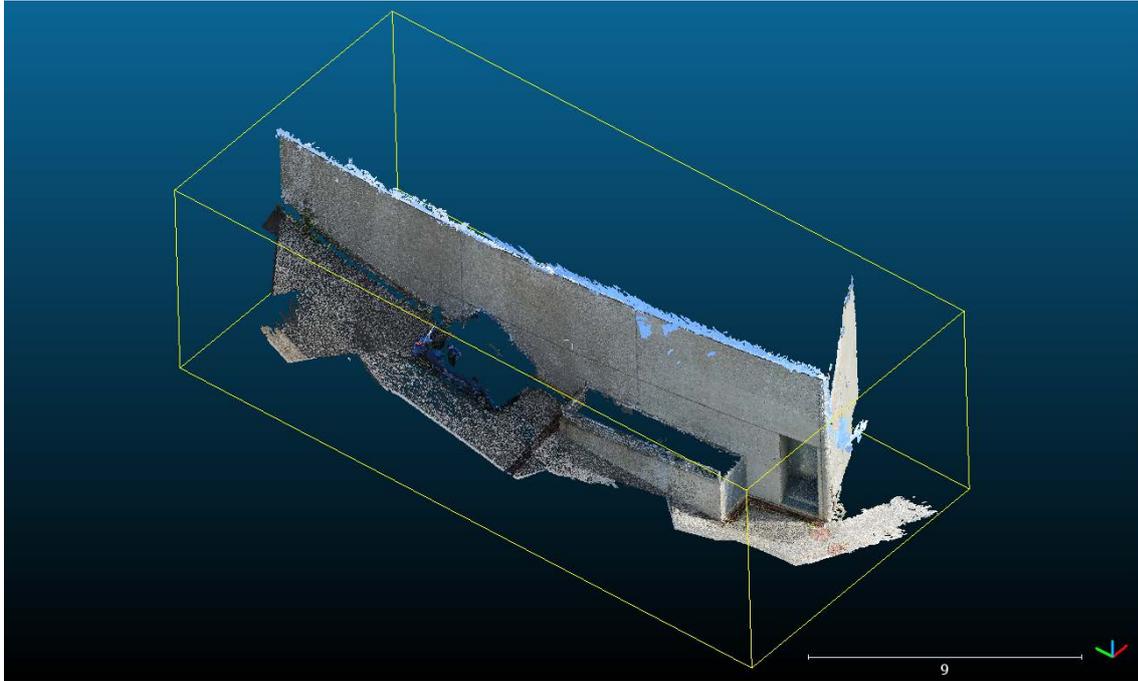


Figura 97 - Schermata da CloudCompare di una delle nuvole dense di punti ottenute dal rilievo con tecnica fotogrammetrica terrestre. Nuvola costituita da circa 11 milioni di punti.

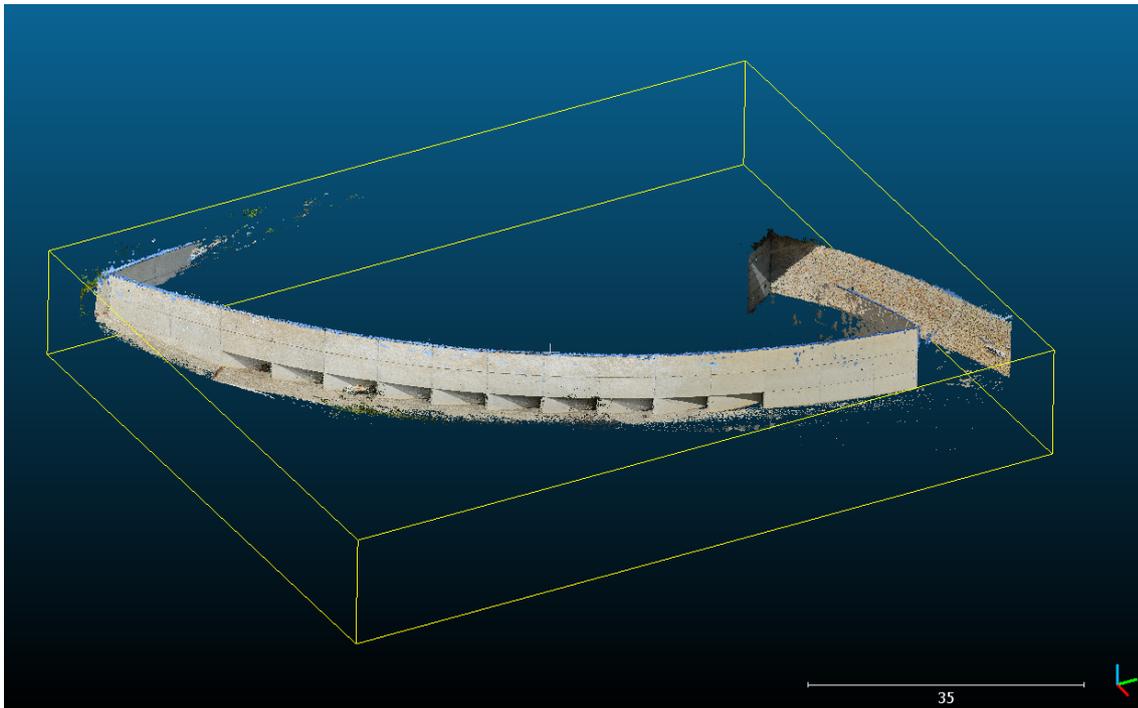


Figura 98 - Schermata da CloudCompare di una delle nuvole dense di punti ottenute dal rilievo con tecnica fotogrammetrica terrestre. Nuvola costituita da circa 42 milioni di punti.

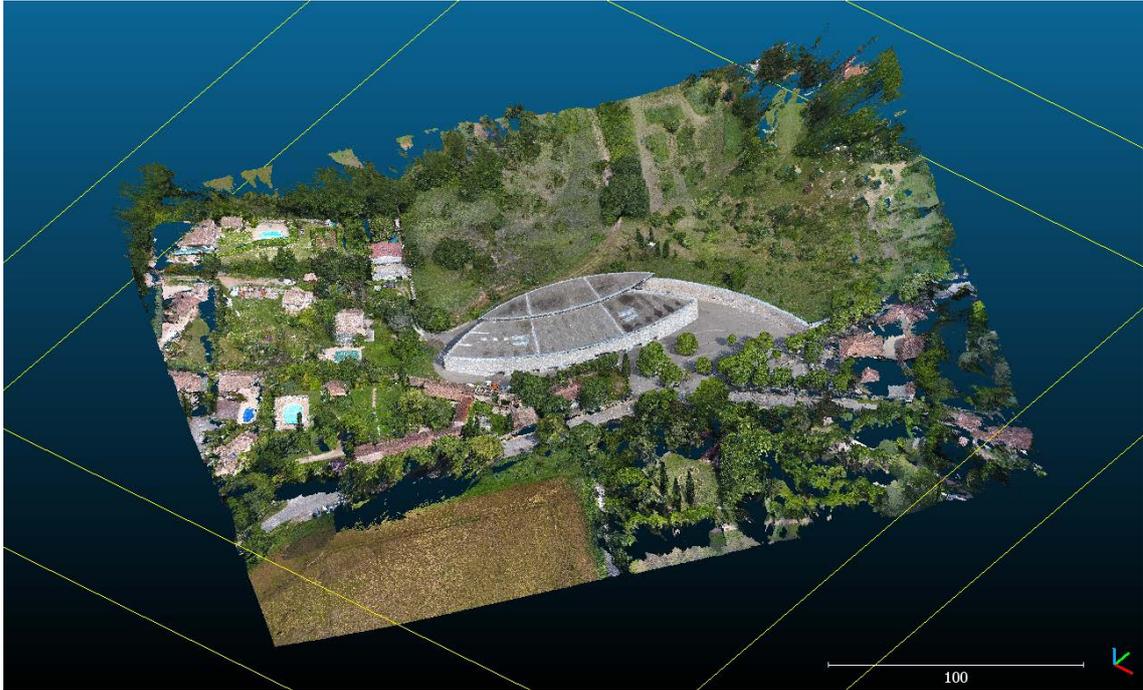


Figura 99 - Schermata da CloudCompare della nuvola densa di punti ottenuta dal rilievo con tecnica fotogrammetrica aerea. Nuvola costituita da circa 60 milioni di punti.

Rimandando l'attenzione allo schema in figura 88, occorre sottolineare che il risultato derivante dall'elaborazione dei dati acquisiti con tecnica fotogrammetrica, è costituito dalla singola nuvola densa di punti, una per ogni *chunk*.

In figura 100 si riportano gli *step* successivi da eseguire, al fine di generare un'unica nuvola densa di punti, derivante dall'unione dei singoli *file* di *output*, ottenuti procedendo secondo lo schema di figura 88.

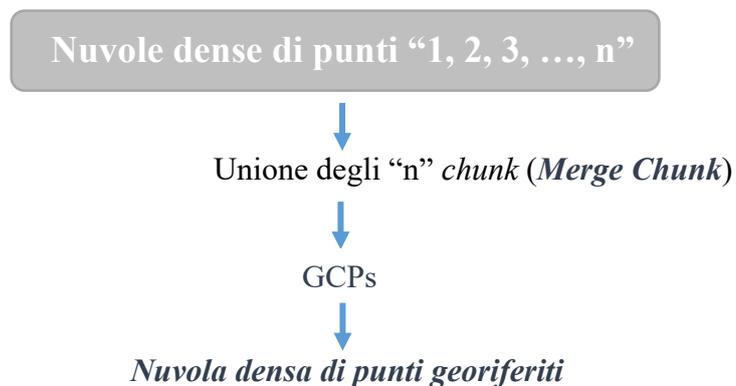


Figura 100 – Sequenza delle fasi da svolgere in seguito all'ottenimento delle singole nuvole dense di punti.

Nello specifico sono state **unite** le quattro **nuvole dense** relative all'esterno del Museo. Si è proceduto importando in un unico *file*, all'interno del *software* Agisoft Photoscan, i vari *chunk* e attuando l'operazione "**Merge Chunk**".

Anche in questo caso sono stati valutati gli scarti residui sui **GCPs** prima di **generare** una **nuvola densa unica**.

4.1.3 Dati acquisiti con tecnica LiDAR manuale

La nuvola di punti ottenuta dal processamento dei dati acquisiti con tecnica fotogrammetrica aerea, costituisce un *dataset* georiferito.

Per tale ragione, essa ha costituito la base di riferimento per la **georeferenziazione** delle **nuvole** derivanti da acquisizione LiDAR manuale.

Queste ultime, sono state in primo luogo unite e allineate in maniera automatica dal *software* Hub di GeoSLAM già in fase di acquisizione; la nuvola che si è ottenuta è stata esportata in formato compatibile con il *software* CloudCompare, mediante il quale è stato possibile valutare la bontà del processo di elaborazione.

CloudCompare ha inoltre consentito di riferire la nuvola ZEB²³ nello stesso sistema della nuvola UAV²⁴, effettuando un allineamento basato sull'algoritmo ICP e consentendo di ridurre al minimo gli errori di posizionamento.

Nello specifico sono stati valutati i valori di media e deviazione standard della prima nuvola rispetto al *dataset* di riferimento, ovvero dalla nuvola UAV, e sono state eliminate da quest'ultima le porzioni più distanti dalla nuvola ZEB, al fine di migliorare l'operazione di allineamento.

A titolo esemplificativo si riporta di seguito il risultato derivante dall'allineamento della porzione di nuvola UAV relativa all'esterno del Museo, con la nuvola ZEB ottenuta dal rilievo degli interni mediante tecnica LiDAR manuale [Fig. 101].

La nuvola densa risultante, ha consentito di fornire una descrizione ancor più dettagliata del caso studio e ha costituito la base per la costruzione del modello tridimensionale.

Come si evince dalla figura 101, la nuvola di punti generata dal *software* di GeoSLAM risulta priva delle informazioni radiometriche. Queste ultime sono state pertanto estratte

²³ Considerata come "mobile".

²⁴ Considerata come "fissa".

dai *frame* dei video ripresi con la camera dello ZEB e associate alle posizioni dei vari punti costituenti la traiettoria percorsa in fase di acquisizione.

Una volta stabiliti posizione e orientamento delle immagini, l'algoritmo di registrazione ed elaborazione del *software* Hub di GeoSLAM ha tentato di proiettare i dati radiometrici dalle immagini all'intera nuvola, procedendo alla sua texturizzazione.

Al fine di testare una seconda soluzione, sono stati utilizzati anche i fotogrammi acquisiti da drone. Il *software* CloudCompare ha consentito di gestire i valori radiometrici degli oggetti riconosciuti nella nuvola di punti.

Occorre sottolineare che a causa della diversa qualità tra la nuvola di punti e le immagini, i dati RGB sono stati ricampionati e semplificati per essere assegnati alla nuvola ZEB. Da quest'ultima è stata inoltre generata una *mesh* 3D all'interno del *software* Agisoft Photoscan, alla quale è stata applicata la *texture*.

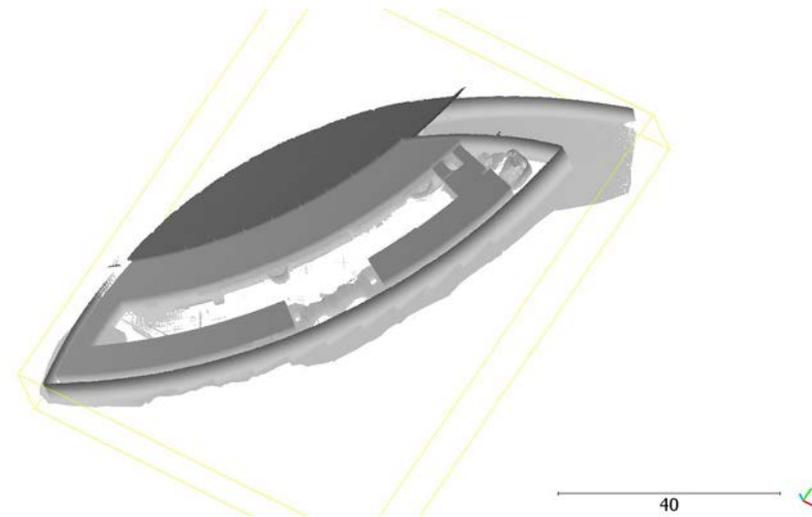


Figura 101 – Allineamento della porzione di nuvola UAV relativa all'esterno del Museo, con la nuvola ZEB ottenuta dal rilievo degli interni mediante tecnica LiDAR manuale. Schermata da CloudCompare.

Data la natura numerica dei fotogrammi digitali acquisiti, con il *software* Agisoft Photoscan è stato inoltre possibile generare il DDSM²⁵, da cui poter estrarre le informazioni relative alle diverse quote.

²⁵ *Dense Digital Surface Model*, nonché modello denso digitale di superficie, in grado di descrivere la superficie fisica del territorio, compresi gli edifici, le strutture artificiali che su di esso sono presenti, gli alberi e tutti gli oggetti presenti sul territorio.

Fonte: A. Lingua, Dispense di Cartografia Numerica e GIS: Fotogrammetria digitale.

A tale proposito si rimanda alla figura 102, in cui è possibile visualizzare il modello altimetrico numerico in scala di grigi; il colore bianco indica i valori più elevati di altitudine, mentre il nero quelli più bassi.

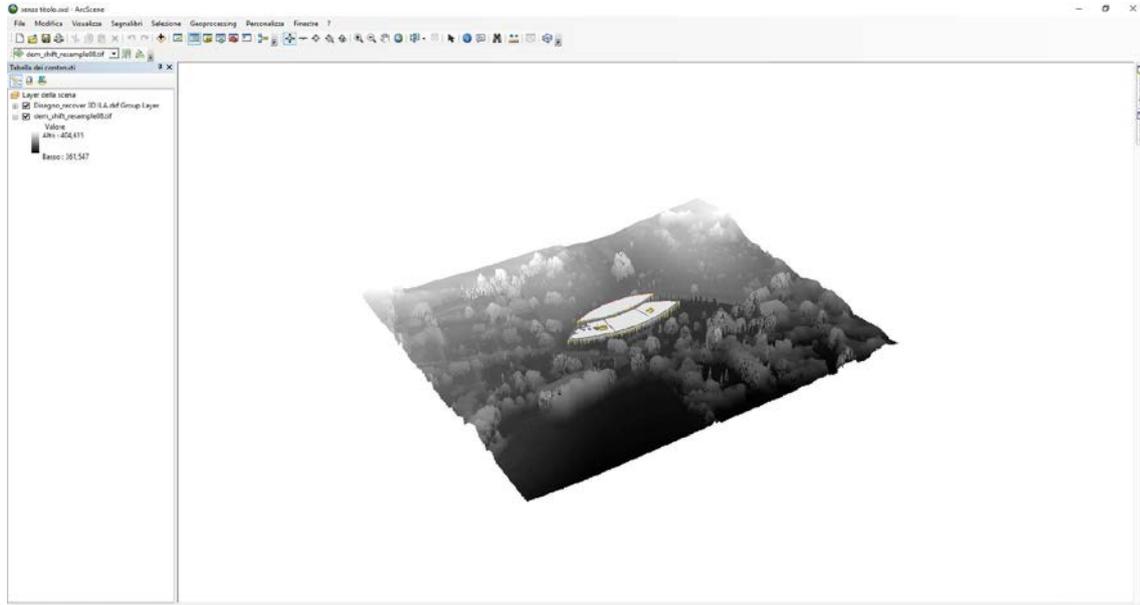


Figura 102 – Esportazione del DDSM, visibile in scala di grigi, e sua importazione in ArcScene. Il bianco indica i valori più elevati di quota, il nero i più bassi.

In figura 102 è inoltre possibile visualizzare il modello tridimensionale del Museo di Quinson. Per una trattazione più approfondita sulle procedure eseguite per la sua costruzione, si rimanda al capitolo successivo della presente tesi.

5. Modellazione

Per i casi studio di Tolentino e Quinson, a seguito delle elaborazioni dei dati acquisiti durante le campagne di rilievo, si è proceduto con la modellazione tridimensionale, raggiungendo rispettivamente un livello di dettaglio (LoD) pari a 2 e 3 [Fig. 103], con riferimento alla classificazione CityGML.

Nel caso studio di Venezia, si è raggiunto un LoD4 [Fig. 103], che prevede la modellazione anche degli interni.

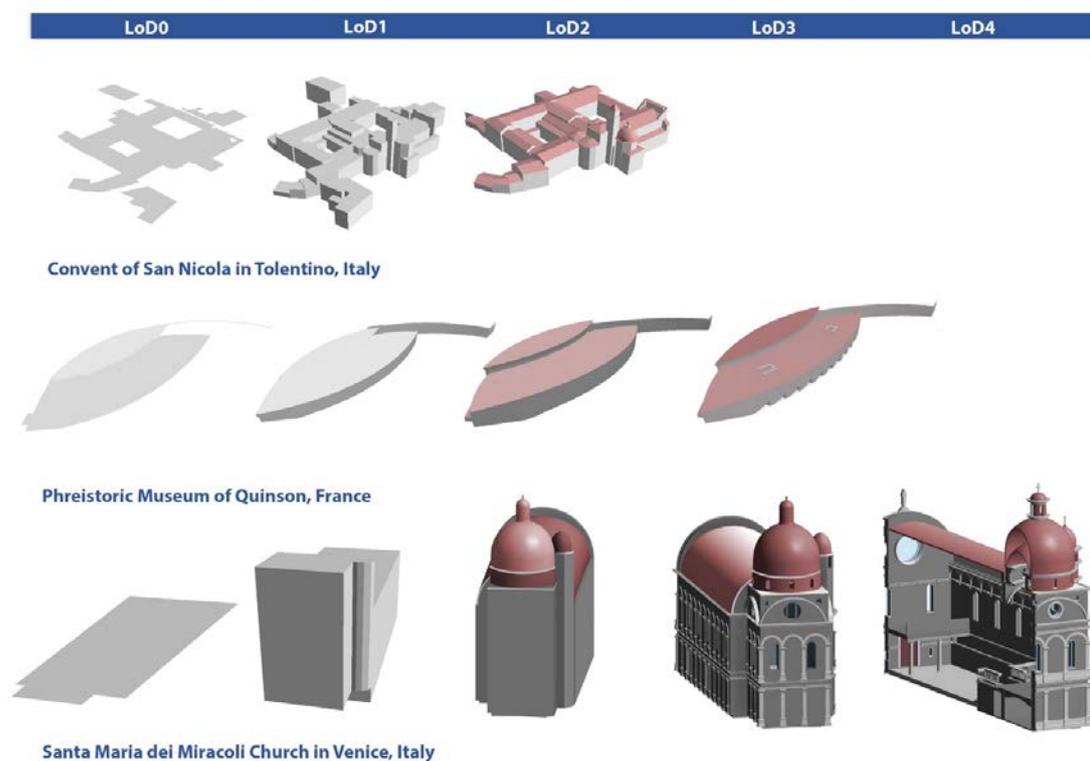


Figura 103 – Modelli tridimensionali elaborati secondo i livelli di dettaglio previsti dallo standard CityGML. Nel caso studio di Tolentino si è raggiunto un LoD2, in quello di Quinson un LoD3, mentre per Venezia un LoD4.

Se a Tolentino è stata effettuata un’acquisizione di grande dettaglio e a Quinson una più speditiva, nell’ambito del progetto di ricerca svolto, si è scelto di proporre per il caso studio di Venezia una modalità operativa alternativa all’acquisizione sul campo, essendo in generale quest’ultima un’attività che richiede tempo, costi e impegno.

Per Venezia si aveva a disposizione una documentazione grafica bidimensionale non digitalizzata; pertanto si è deciso di sfruttare il materiale fornitoci, come punto di partenza per l'elaborazione del modello tridimensionale. In questo modo si perde indubbiamente la precisione raggiungibile con il rilievo diretto, ma per le finalità dello studio svolto, nonché l'incremento della resilienza di un bene culturale, tale procedura è risultata sufficiente e potrebbe essere utilizzata anche per casi studio futuri.

Nello specifico le piante, i prospetti e le sezioni hanno consentito la modellazione dei LoD2, LoD3 e LoD4; per la costruzione del LoD0 e del LoD1, sono stati scaricati gli *shapefile* disponibili sul Geoportale della Regione Veneto, relativi al Comune di Venezia, e dopo averli ispezionati, si è scelto di utilizzare lo *shapefile* "UN_VOL" relativo alle unità volumetriche degli edifici, in quanto costituite da poligoni 3D e dunque contenenti l'informazione relativa al dato altimetrico.

Tale *shapefile* è stato successivamente inserito nel *database* di ResCult, consentendone il popolamento con le geometrie del LoD0 e del LoD1; anche per i restanti livelli di dettaglio è stato popolato l'EID di ResCult, come illustrato nel capitolo successivo per le geometrie relative al LoD3 e al LoD4 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli.

Nei paragrafi successivi viene invece illustrato quanto realizzato per la modellazione tridimensionale dei tre casi studio.

5.1 Quinson

Usufruendo del DDSM elaborato con il *software* Agisoft Photoscan e successivamente importato in ArcScene, è stato possibile estrapolare le informazioni inerenti il dato altimetrico e costruire a diverse scale di dettaglio il modello tridimensionale.

Dal LoD0 corrispondente all'impronta dell'edificio, si è dunque passati a una rappresentazione in tre dimensioni, molto semplificata, coincidente con un volume solido costruito con polilinee 3D in ambiente CAD (LoD1).

Avendo a disposizione anche le informazioni riguardanti il contesto in cui il Museo risulta inserito, sono stati modellati in AutoCAD 3D gli edifici circostanti, per i quali si è raggiunto un livello di dettaglio pari a 2.

Esso prevede in aggiunta al LoD1 la modellazione delle coperture; anche in questo caso è stato utilizzato il comando AutoCAD "3DPOLI".

Seguendo la stessa logica, per il Museo della Preistoria si è proseguito con la modellazione delle aperture sui fronti e in copertura, generando dunque il LoD3 [Fig. 104]. Per ogni livello di dettaglio, distinguendo il Museo dagli edifici circostanti, sono stati successivamente esportati in ArcScene gli *shapefile* corrispondenti, e inseriti nel *database* di ResCult, utilizzando il *software* QGIS.

A titolo esemplificativo, in figura 105 si riporta il risultato ottenuto per il LoD3, a seguito della sua esportazione in formato *.shp* all'interno del *software* ArcScene.

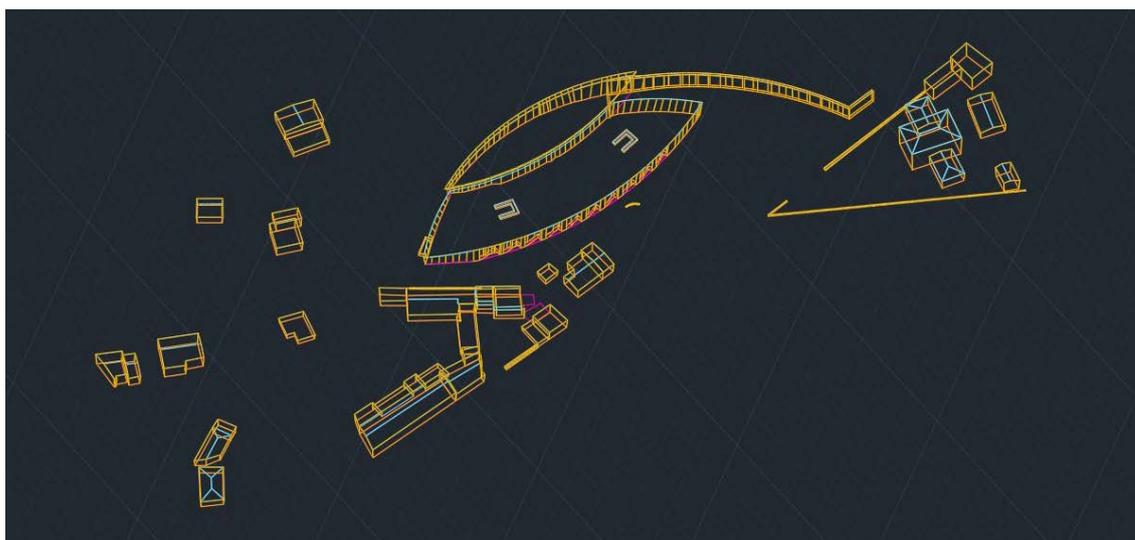


Figura 104 – Modellazione tridimensionale del Museo della Preistoria e degli edifici circostanti. Per il primo si è raggiunto un LoD3, mentre per il contesto un LoD2; schermata da AutoCAD 3D, vista “Wireframe”.

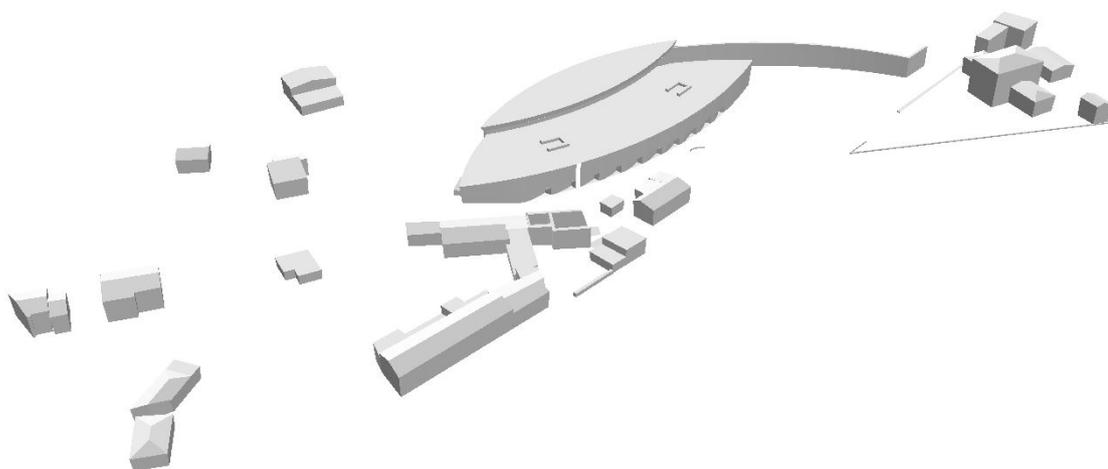


Figura 105 – Importazione in ambiente GIS dei risultati ottenuti con software CAD. Schermata da ArcScene del LoD3.

Per la modellazione dei due beni mobili acquisiti con tecnica fotogrammetrica, partendo dalle nuvole dense di punti ottenute durante il processamento dei dati, è stato possibile generare due *mesh* 3D con *software* Agisoft Photoscan e le corrispondenti *texture*.

I due modelli ottenuti sono stati inseriti all'interno di una piattaforma *Web open source* collegata all'EID di ResCult. Si tratta della piattaforma 3DHOP, prodotta dal gruppo di ricerca "*Visual Computing Lab of ISTI - CNR*", grazie alla quale poter visualizzare i modelli tridimensionali prodotti [Fig. 106].



Figura 106 – Schermata da 3DHOP dei due modelli tridimensionali ottenuti in seguito alla generazione di *mesh* 3D e all'applicazione delle corrispondenti *texture* con *software* Agisoft Photoscan. A sinistra è raffigurato il modello del vaso preistorico, a destra la mandibola di uno scheletro preistorico.

Tali modelli rispecchiano verosimilmente gli oggetti reali fotografati e sono visualizzabili ai seguenti *link*:

- <http://rescult3dmodels.altervista.org/Models3DRescult/3DHOPVase/Vase.html>;
- <http://rescult3dmodels.altervista.org/Models3DRescult/3DHOPMandible/Mandible.html>.

5.2 Tolentino

Il punto di partenza per generare il modello tridimensionale della Basilica di San Nicola a Tolentino e del Convento adiacente, è rappresentato dai *file* di *output* ottenuti in seguito al processamento dei dati acquisiti durante le numerose campagne di rilievo svolte per il presente caso studio.

Nello specifico si tratta di nuvole dense di punti georiferite, *mesh* 3D, modelli densi altimetrici numerici e ortofoto.

A titolo esemplificativo si vogliono riportare alcune delle nuvole generate nel corso degli anni dal gruppo di Geomatica del Politecnico di Torino [Figg. 107 e 108] e l'ortofoto raffigurante il contesto in cui è inserita la Basilica [Fig. 109].



Figura 107 - Nuvole di punti sulla Basilica di San Nicola a Tolentino ottenute durante la fase di elaborazione dati dal gruppo di Geomatica del Politecnico di Torino.



Figura 108 - Nuvola di punti sulla porzione di territorio in prossimità della Basilica. Elaborazione effettuata dal team di Geomatica del Politecnico di Torino.



*Figura 109 – Ortofoto del contesto in cui risulta inserita la Basilica di San Nicola a Tolentino.
Elaborazione effettuata dal team di Geomatica del Politecnico di Torino.*

Importando il DDSM generato con *software* Agisoft Photoscan in ArcScene, è stato possibile interrogare i punti di interesse e conoscerne le quote.

Tali informazioni sono state dunque inserite manualmente in AutoCAD 3D, consentendo la costruzione del modello tridimensionale della Basilica e del Convento.

Così come per il caso studio di Quinson, anche in questo caso è stato utilizzato il comando “3DPOLI” e si è giunti fino al LoD2, restituendo la forma dei tetti.

A titolo esemplificativo si riporta un’immagine raffigurante il modello 3D corrispondente al livello di dettaglio 2 realizzato in ambiente CAD [Fig. 110] e la successiva importazione in ambiente GIS [Fig. 111].

Tale operazione è stata ripetuta per ciascuna visualizzazione secondo i tre livelli di dettaglio, ovvero LoD0, LoD1 e LoD2, in modo da poter esportare tre distinti *shapefile* e inserirli separatamente all’interno del *software* QGIS, il quale è stato connesso all’EID

di ResCult e ha consentito il popolamento dello stesso, con le geometrie associate alle diverse scale di rappresentazione.

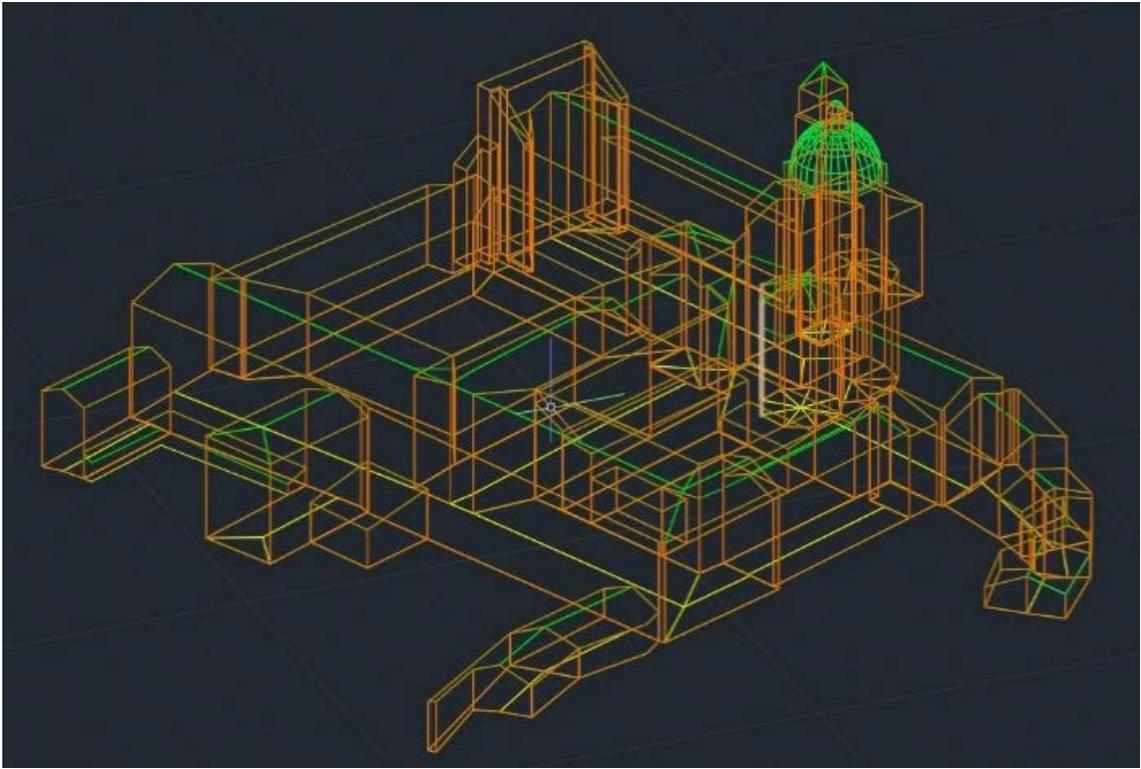


Figura 110 - Modellazione tridimensionale della Basilica e del Convento. Schermata da AutoCAD 3D e vista "Wireframe" del LoD2.

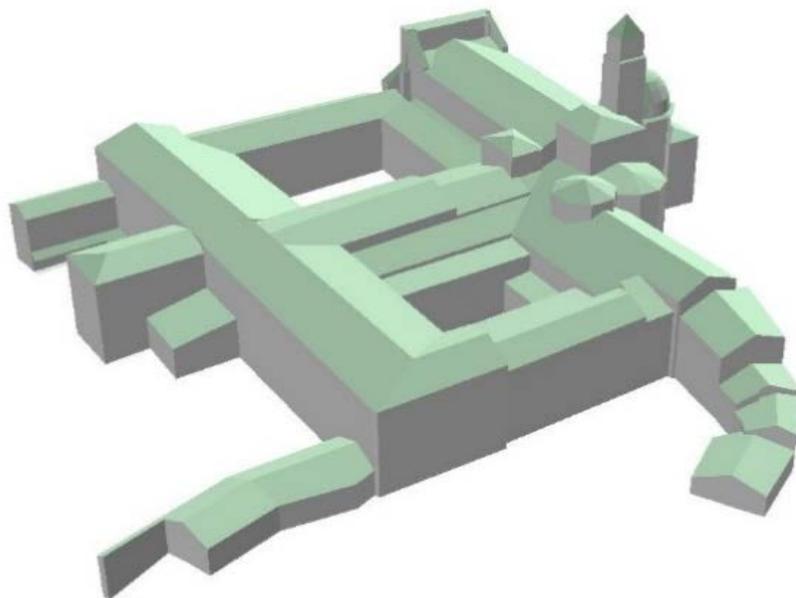


Figura 111 - Importazione in ambiente GIS dei risultati ottenuti con software CAD. Schermata da ArcScene del LoD2.

Oltre alla modellazione del caso studio, è stato possibile riprodurre la volumetria degli edifici circostanti, per i quali si è raggiunto un LoD1 [Fig. 112], anch'esso successivamente inserito nel *database*.

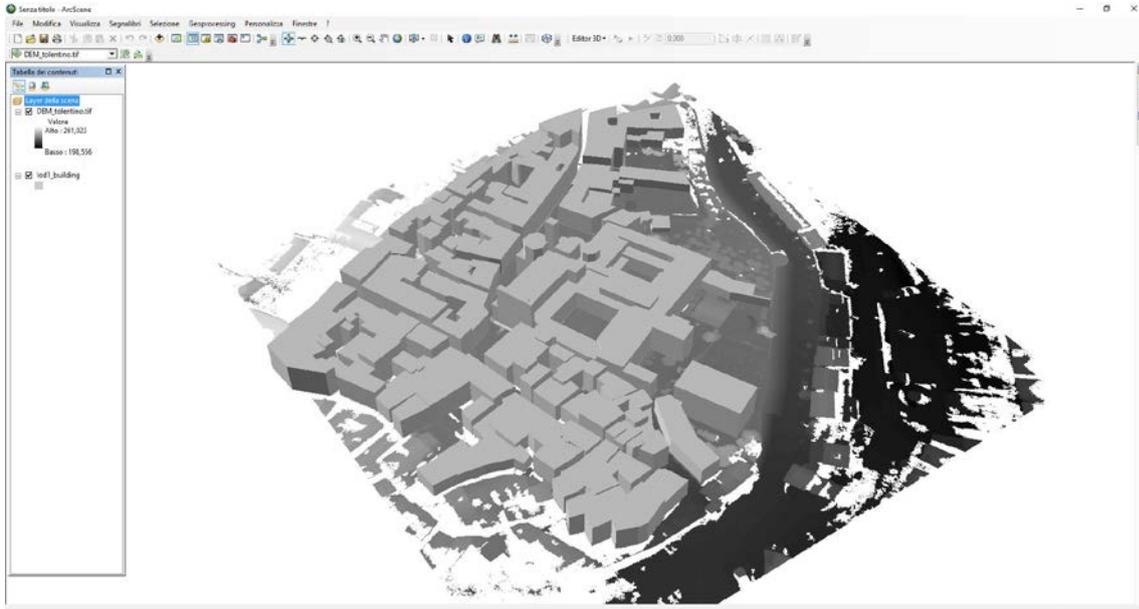


Figura 112 - LoD1 del caso studio e del contesto. Costruzione in ambiente CAD e successiva importazione in ambiente GIS; schermata da ArcScene.

5.3 Venezia

Per il caso studio di Venezia, si è sperimentata la modellazione sia con *software* AutoCAD che Revit; in aggiunta, per l'ultimo livello di dettaglio, si è scelto di inserire informazioni in forma di attributi, importando il tutto all'interno del *database*. L'obiettivo è stato quello di fornire un progetto informativo completo, consultabile da Protezione Civile o altri enti, che potranno interrogare le geometrie e scegliere le migliori procedure operative da adottare in caso di rischio.

5.3.1 La modellazione con *software* AutoCAD

Partendo dalla documentazione cartacea a disposizione, si è proceduto con la scansione del materiale e successiva importazione in ambiente CAD.

Le misure corrette sono state ricavate dai disegni grazie alla scala grafica riportata sugli stessi; pertanto è stato possibile scalare opportunamente i *file* .pdf in AutoCAD e procedere con la loro digitalizzazione [Fig. 113], utilizzando unicamente polilinee chiuse, in quanto riconoscibili come *multipatch* in ambiente GIS.

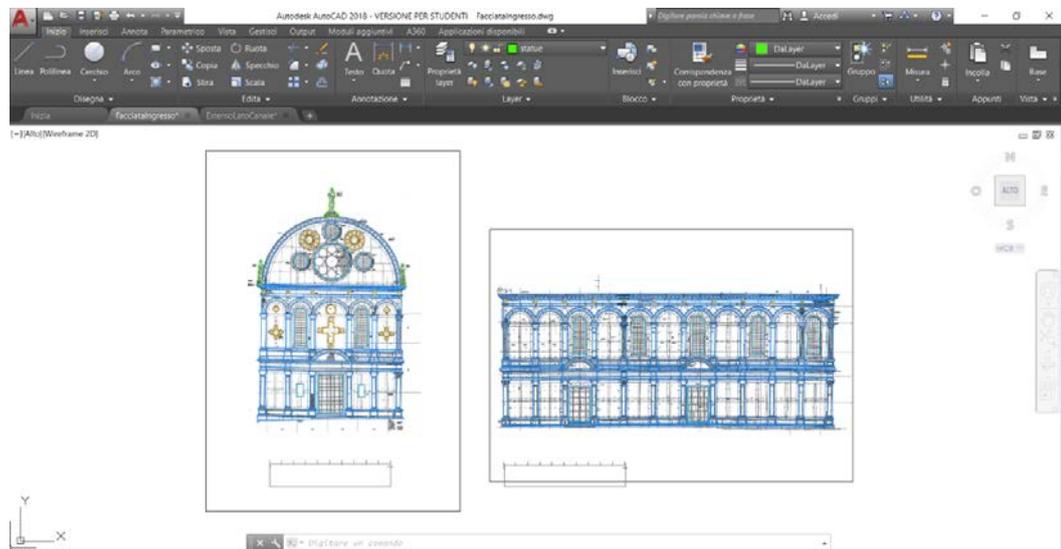


Figura 113 – Digitalizzazione del materiale fornito dai partner CORILA sulla Chiesa di Santa Maria dei Miracoli. E' stato possibile dedurre le misure di ciascun elemento rappresentato grazie alla scala grafica riportata nei file .pdf; schermata da AutoCAD 2018.

Seguendo la stessa logica, si è proceduto con la modellazione in tre dimensioni utilizzando il comando “3DPOLI” [Fig. 114].

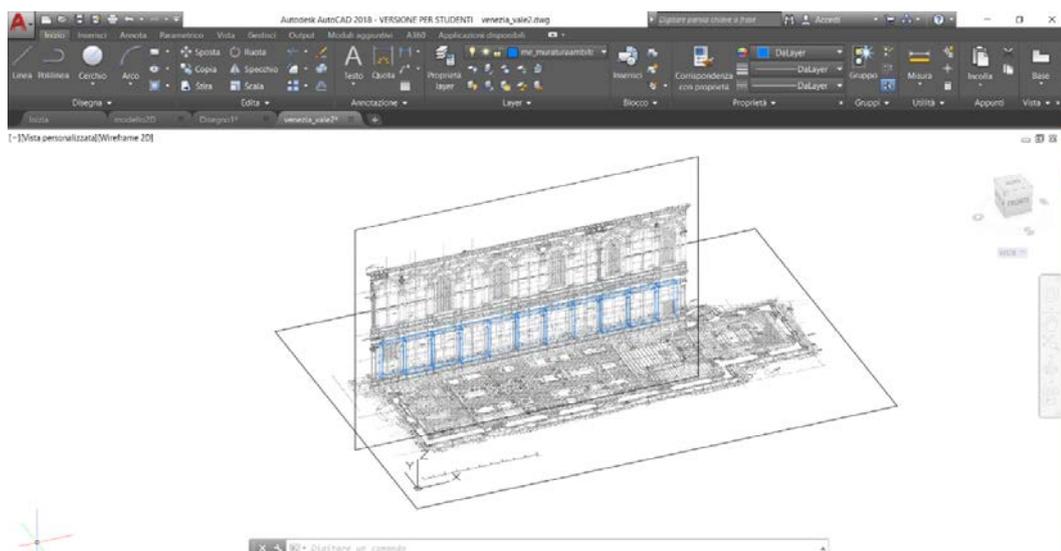


Figura 114 – Modellazione tridimensionale della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli con costruzione di polilinee chiuse 3D. Schermata da AutoCAD 2018.

Sebbene fosse soddisfatta la compatibilità con il *software* ArcScene [Fig. 115], tale procedura operativa è stata subito scartata, in quanto piuttosto lenta.

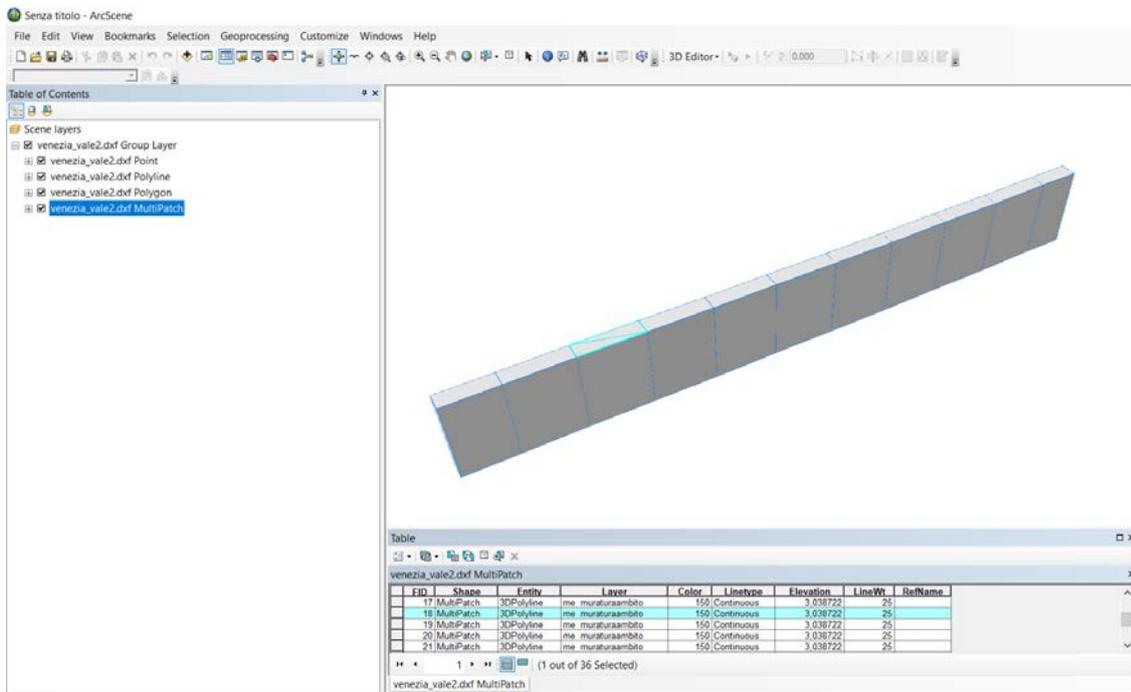


Figura 115 – Modello tridimensionale realizzato in AutoCAD 2018 sfruttando il comando “3DPOLI” e importato in ArcScene versione 10.5. Le proprietà risultano salvate correttamente da un software all’altro; schermata da ArcScene.

Si è scelto dunque di procedere con l’utilizzo di un *software* “*object - oriented*”, Revit, che risulta molto più versatile e non si limita alla creazione di geometrie, ma consente di generare modelli unificati, contenenti dati di qualsiasi genere (documentazione di archivio, degrado subito, caratterizzazione dei materiali, ecc.).

5.3.2 La modellazione con *software* Revit

Per la modellazione del LoD2 della Chiesa, come prima operazione, è stato necessario convertire i *file* .pdf a disposizione e forniti in scala 1:50, in formato .jpg, al fine di consentirne l’importazione come immagini nel *software* Revit.

Con il comando “Allinea”, avendo come riferimento la scala grafica, è stato possibile scalarle opportunamente e utilizzarle come base su cui costruire l’edificio.

Nello specifico ci si è serviti della pianta del piano terra per la definizione dei contorni delle mura esterne, e dei prospetti per avere le informazioni sulle diverse quote.

Utilizzando la famiglia dei muri, è stato dunque possibile creare un blocco tridimensionale con tetto piano non modellato. Per raggiungere il LoD2 è stato necessario modellare anche le coperture; avendo la facciata della Chiesa sormontata da un frontone semicircolare, si è scelto di utilizzare la famiglia “Muro” per la sua realizzazione e si è modificato il profilo, servendosi del comando “arco” [Fig. 116].

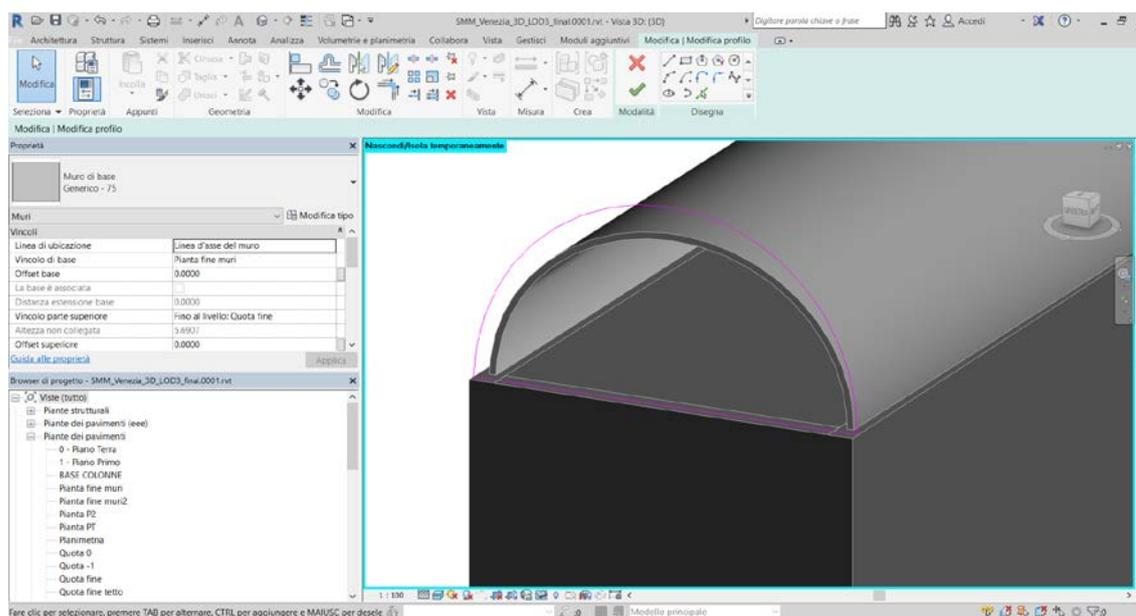


Figura 116 – Modellazione del frontone semicircolare in facciata. Schermata da Revit 2018.

La navata unica risulta sovrastata da una volta a botte [Fig. 117], la quale è stata realizzata con la famiglia “Tetto”, disegnandone il profilo, da estrarre lungo le pareti laterali. Così come in facciata, nella parte diametralmente opposta, è stato modellato un muro che “chiudesse” la zona in cui la volta si interrompe [Fig. 117]. Nella parte absidale, nonché la zona del coro, si innesta una cupola con a fianco una torretta [Fig. 117] contenente una scala. La cupola è stata realizzata come modello generico, che differisce dal modello locale, in quanto utilizzabile anche in altri progetti; nella zona sottostante e soprastante la cupola, sono stati realizzati due muri circolari [Fig. 117], l’ultimo dei quali a sua volta sovrastato da un modello generico; è stato inoltre modellato un tetto piano che costituisse la base su cui poggiare il tamburo della cupola [Fig. 117]. La torretta è stata modellata con la famiglia “Muro”, mentre la copertura come modello locale associato alla famiglia “Tetti”.

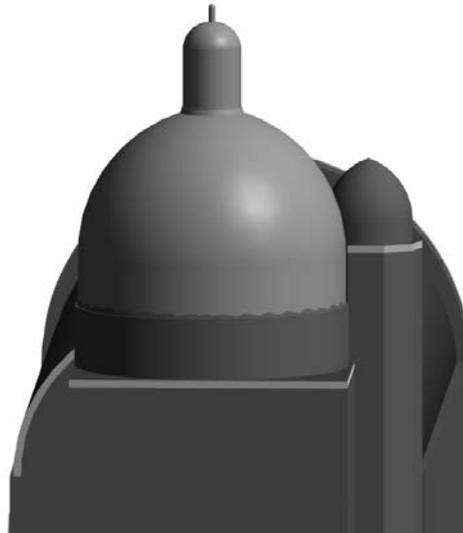


Figura 117 – Zoom sulla modellazione delle coperture previste per il LoD2. Schermata da Revit 2018.

Il LoD3 è stato ottenuto aggiungendo lungo tutti i fronti le varie aperture [Fig. 118]. A tale proposito è stata utilizzata la famiglia “Finestra”, duplicandola e rinominandola di volta in volta, al fine di modificare opportunamente ciascuna finestra, secondo le forme rappresentate nelle immagini dei prospetti.

La stessa logica è stata seguita per la modellazione di qualsiasi elemento appartenente a una determinata famiglia già contenuta nel *software* Revit.

In aggiunta, per il LoD3 sono state modellate anche le paraste che circondano tutto il perimetro della Chiesa [Fig. 118] e gli archi in corrispondenza del piano primo [Fig. 118], entrambi realizzati come modelli locali associati alla famiglia “Muro”.

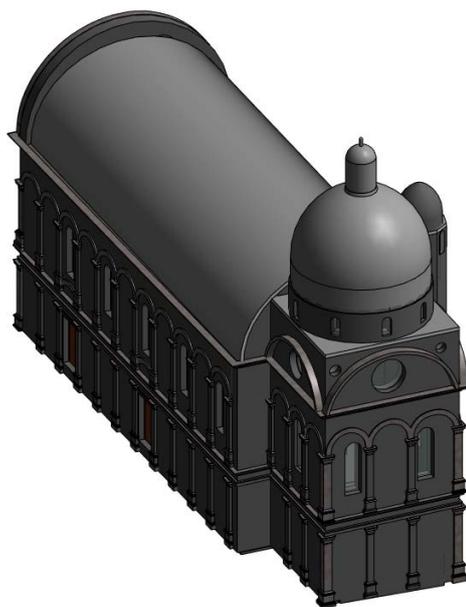


Figura 118 – Schermata da Revit 2018 del LoD3 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli.

I quattro livelli di dettaglio illustrati finora, sono stati realizzati dal *team* di Geomatica del Politecnico di Torino; la mia mansione ha riguardato la creazione del LoD4, giungendo essenzialmente alla modellazione degli interni.

Come prima operazione sono stati realizzati i pavimenti del piano terra e del piano primo, servendosi delle due piante a disposizione.

Grazie alle sezioni interne è stato possibile ricavare le alzate dei gradini presenti all'interno della Chiesa e la quota a cui si trovava ciascun pavimento. I gradini, il soppalco in controfacciata e i pavimenti dei due piani sono stati realizzati tutti con la famiglia "Pavimento" presente in Revit.

La ringhiera del soppalco è stata realizzata con un muro di base generico [Fig. 119], mentre per la modellazione della ringhiera della zona absidale, sono stati creati anche dei modelli locali, associandoli alla famiglia dei muri e realizzandoli mediante una rivoluzione a 360° del profilo di uno dei pilastri [Fig. 119]. Tale profilo è stato disegnato ricalcandone la forma da una delle sezioni interne a disposizione.



Figura 119 – Modellazione del soppalco e della ringhiera in controfacciata (a sinistra). Modellazione della balaustra nella zona absidale (a destra); schermata da Revit 2018.

Come si evince dalla figura 119, all'interno della Chiesa sono state modellate una serie di cornici che si protraggono lungo tutto il perimetro, più quelle lungo il contorno delle finestre.

Ciascuna di esse è stata creata mediante modelli locali, i quali sono stati associati alla famiglia dei muri e sono stati realizzati mediante un'estrusione sul percorso. Usufruento dei modelli locali piuttosto che delle famiglie già presenti in Revit è stato possibile personalizzare ciascun elemento modellato, appositamente per il progetto in esame.

Anche in questo caso i profili sono stati approssimativamente dedotti dalle sezioni fornite in formato .jpg e opportunamente scalate prima di procedere con la fase di modellazione.

Tale operazione è stata eseguita per ciascuna cornice presente sia all'interno che all'esterno della Chiesa.

Tramite la stessa procedura, sono stati modellati anche i pilastri della zona absidale [Fig. 120], i due pilastri che sorreggono il soppalco in controfacciata [Fig. 120] e i basamenti che circondano esternamente il caso studio [Fig. 120].

In aggiunta, grazie alle sezioni interne e ai prospetti importati nel *software* Revit, è stato possibile inserire nel modello le varie porte raffigurate, duplicando di volta in volta la tipologia che più si avvicinava alla porta considerata, e modificandone manualmente le dimensioni.

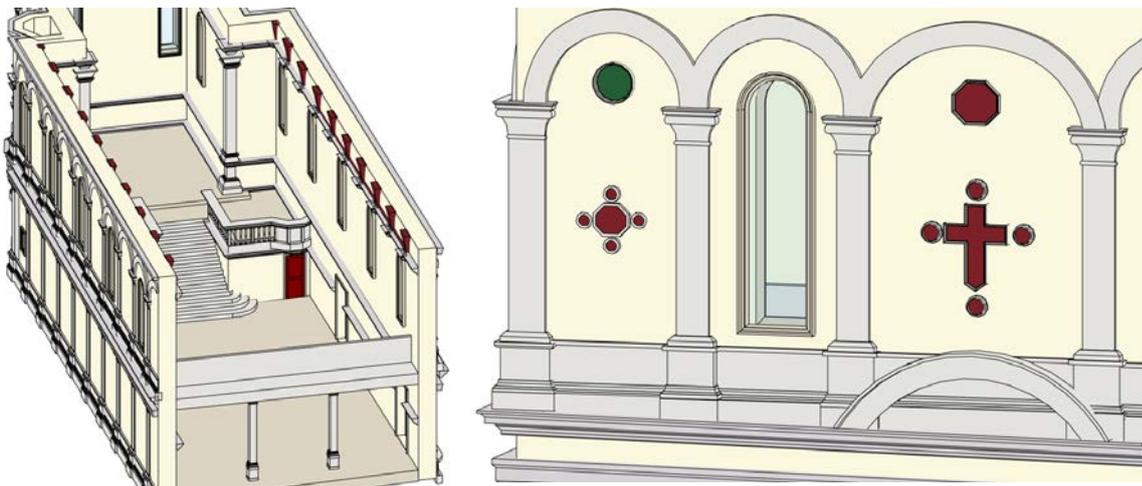


Figura 120 – Modellazione dei due pilastri in controfacciata e nella zona absidale (a sinistra). Modellazione dei basamenti che collegano le paraste in facciata (a destra); schermata da Revit 2018.

Una caratteristica particolare degli interni della Chiesa, riguarda la presenza, lungo le pareti laterali, di arcate al di sopra delle vetrate, dotate di una profondità maggiore in corrispondenza della parte superiore, rispetto a quella inferiore.

Per riprodurre tale effetto di profondità, è stato generato un modello locale associato alla famiglia dei muri e realizzato mediante un'estrusione su percorso di un profilo a forma di trapezio rettangolo, con base inferiore minore rispetto a quella superiore.

A questo, è stato sottratto lungo tutta la parete un solido, realizzato con la stessa procedura, ma avente un profilo semicircolare [Fig. 121].

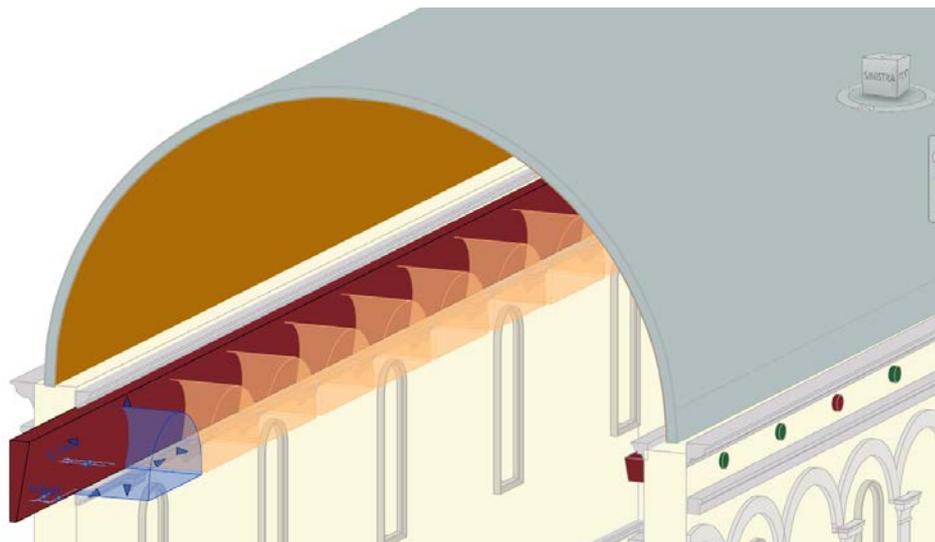


Figura 121 – Modellazione delle arcate poste al di sopra delle finestre presenti all’interno della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli. Schermata da Revit 2018.

In corrispondenza della zona del coro, appena al di sotto del tamburo, sono invece state riprodotte le arcate presenti su ciascun lato, anch’esse realizzate mediante estrusioni su percorso di modelli locali associati alla famiglia dei muri.

Con la stessa procedura sono state modellate le statue presenti in facciata lungo il frontone semicircolare. Il profilo è stato disegnato a mano libera ricalcando sull’immagine a disposizione, raffigurante il fronte principale [Fig. 122].

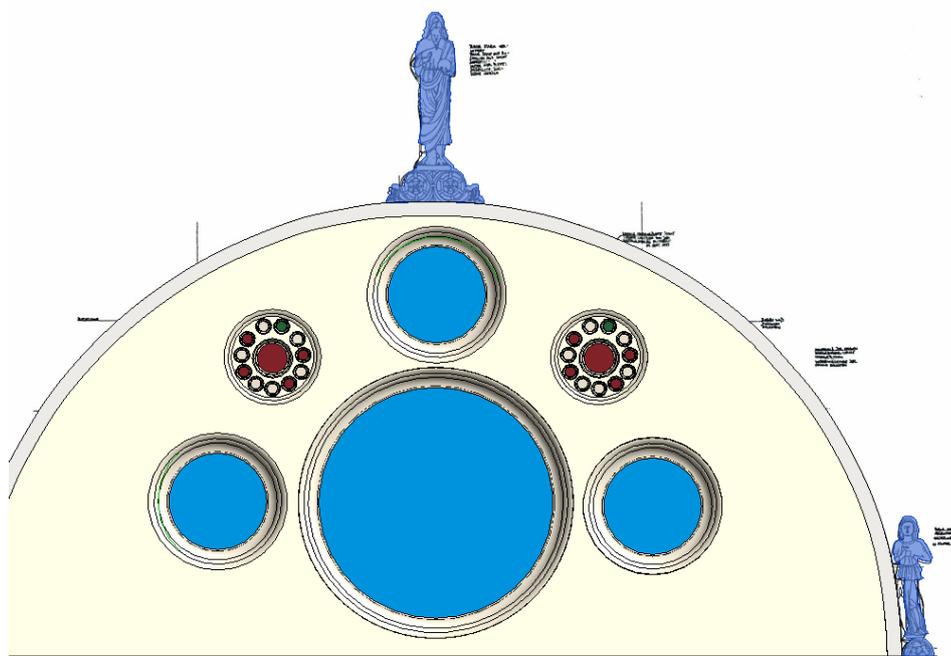


Figura 122 – Modellazione delle statue poste sul frontone semicircolare del prospetto principale. Il profilo è stato disegnato a mano libera ricalcando l’immagine .jpg della facciata, opportunamente scalata in precedenza; schermata da Revit 2018, vista “Prospetto Ovest”.

A titolo esemplificativo di seguito si riporta una vista 3D raffigurante il LoD4 modellato con *software* Revit [Fig. 123].

Prima dell'inserimento in ambiente GIS, per il LoD4 è stato effettuato un ulteriore passo in avanti; si è infatti scelto di inserire delle informazioni aggiuntive, direttamente nel *software* Revit, al fine di valutare se, una volta importato il modello in ambiente GIS, queste venissero lette oppure andate perdute.

In figura 124 si riporta uno schema riassuntivo delle tre tipologie di informazioni che sono state inserite, sfruttando tre diverse modalità di compilazione dati; l'elenco numerato illustra nel dettaglio le procedure eseguite.

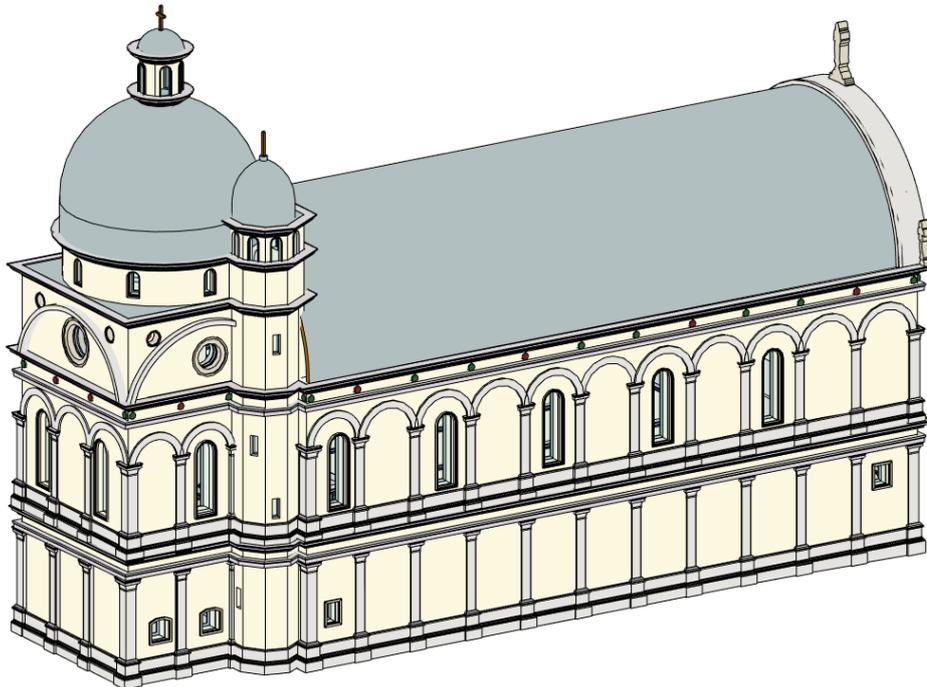


Figura 123 – Schermata da Revit 2018 del risultato ottenuto in merito alla modellazione del LoD4 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli.



Figura 124 – Schema riassuntivo delle tre tipologie di informazioni inserite in Revit, secondo tre diverse modalità di compilazione.

In primo luogo al LoD4 è stata assegnata l'informazione relativa alla sua posizione geografica.

In secondo luogo, per ciascun elemento precedentemente modellato, è stata inserita l'informazione relativa al materiale di cui esso risulta costituito. Questo è il motivo per cui le figure illustrate nel presente paragrafo non sono in scala di grigi, ma colorate. L'informazione sui materiali è stata dedotta dal libro “Santa Maria dei Miracoli a Venezia. La storia, la fabbrica, i restauri”, curato dagli architetti Mario Piana e Wolfgang Wolters.

Dallo stesso, è stato possibile ricavare le informazioni inerenti le diverse attività di restauro svoltesi nel corso degli anni. Pertanto si è scelto di inserire anche tale dato, come parametro di progetto, da assegnare al singolo componente considerato volta per volta.

- 1) Utilizzando il comando “Gestisci – Località”, si apre la finestra “Posizione, condizioni atmosferiche e Sito”; la posizione è stata impostata definendola in base al “Servizio di localizzazione Internet”, il quale consente di visualizzare il progetto mediante la ricerca dell'indirizzo o della latitudine e longitudine. A questo punto l'icona a forma di casa presente all'interno della mappa (offerta dal provider Bing), è stata spostata manualmente in corrispondenza della posizione occupata dalla Chiesa di Santa Maria dei Miracoli [Fig. 125].

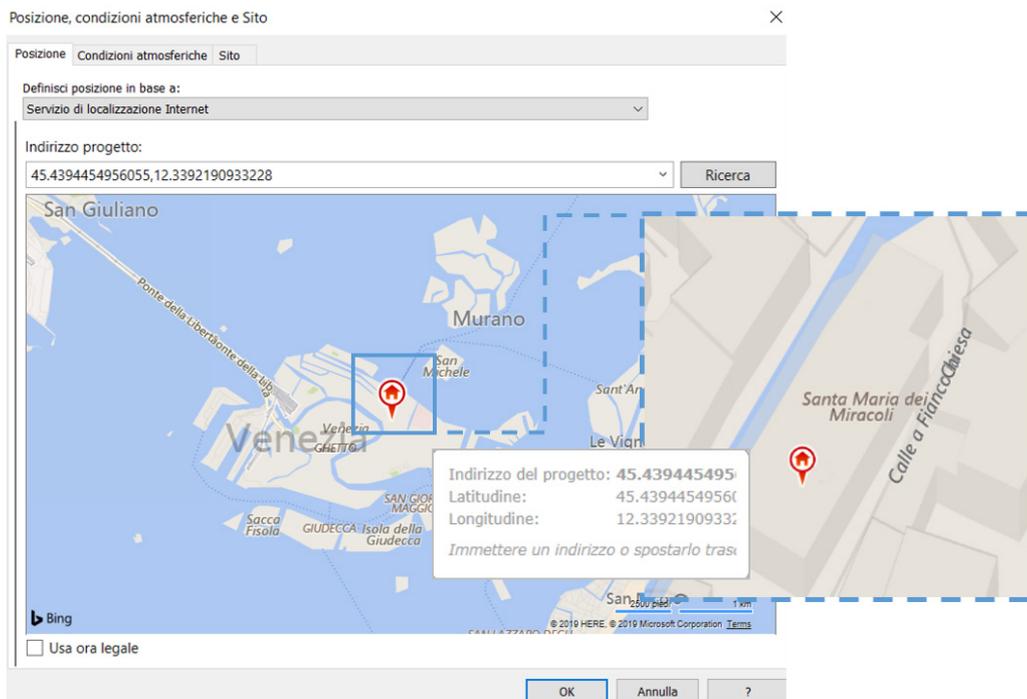


Figura 125 - Assegnazione della posizione geografica, espressa in termini di latitudine e longitudine, al LoD4 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli. Schermata da Revit 2018.

In questo modo, al LoD4 modellato, il *software* Revit ha **assegnato** in automatico l’informazione relativa alla sua **posizione geografica**, esprimendola in termini di coordinate geografiche [Fig. 125].

- 2) Inizialmente, per ciascun elemento modellato nel *software* Revit, a seconda della famiglia scelta per la sua costruzione in tre dimensioni, erano salvate una serie di impostazioni di *default*, tra cui quella relativa al materiale associato alla struttura. Per modificarne l’informazione, occorre selezionare l’elemento del quale si vuole **definire il materiale**, modificare la famiglia, e inserire in corrispondenza della dicitura “Struttura” il materiale indicato, cliccando semplicemente sui tre puntini [Fig. 126].

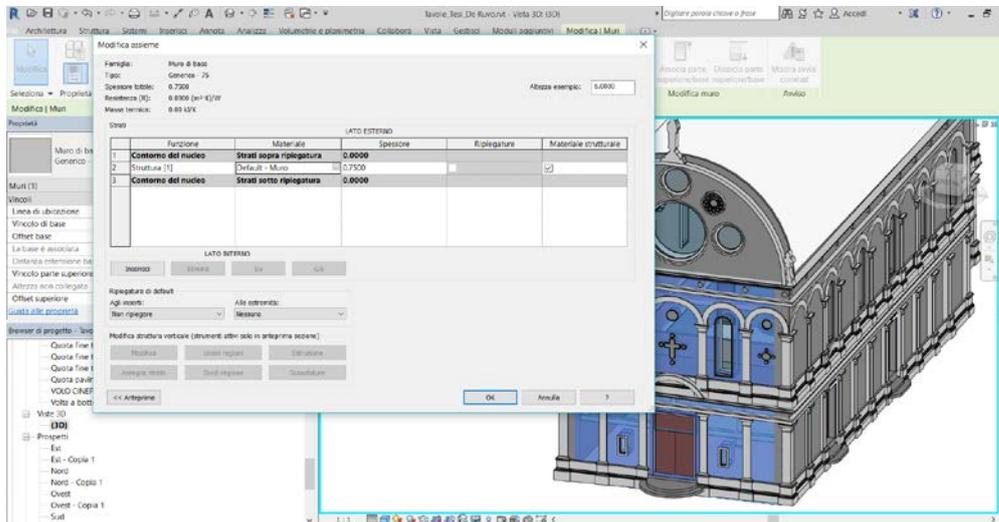


Figura 126 – Procedura eseguita per modificare le informazioni di default relative al materiale associato a ciascun componente modellato. Schermata da Revit 2018.

A questo punto si apre la finestra del *browser* dei materiali; in corrispondenza del materiale di *default* previsto da Revit, si clicca col tasto destro e si sceglie l’opzione “duplica”. In questo modo non vengono apportate le modifiche ai materiali di progetto presenti nel *software*, ma ne vengono creati di nuovi, ai quali può essere modificato il nome. “Di Pavonazzetto Toscano originale sono ben poche delle grandi lastre di rivestimento di tutte le facciate [...]”²⁶.

²⁶ M. Piana, W. Wolters, “Santa Maria dei Miracoli a Venezia. La storia, la fabbrica, i restauri”, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Collana Monumenta Veneta, a cura di T. Pignatti, F. Valcanover, D. Calabi, G. Pavanello, Venezia 2003, p. 233.

Pertanto per il muro selezionato in figura 126 è stato creato un materiale e rinominato “Marmo – Pavonazzetto Toscano” [Fig. 127]; in corrispondenza della finestra “Identità”, sono state aggiunte delle informazioni riassuntive ricavate dal libro riportato nel riferimento a piè di pagina [Fig. 127], mentre per la “Grafica” è stato scelto un colore che più somigliasse alla realtà [Fig. 127].

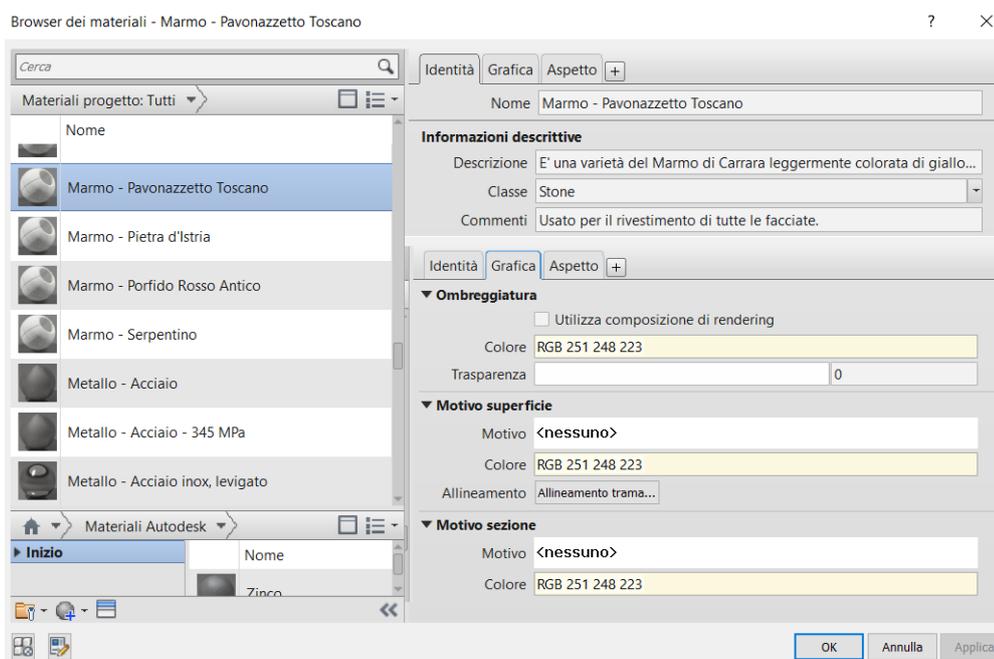


Figura 127 – Assegnazione delle informazioni associate al materiale creato “Marmo – Pavonazzetto Toscano”. Schermata da Revit 2018.

Analogamente si è proceduto per l’assegnazione dell’informazione dei materiali a ciascun componente 3D modellato. A tale proposito sono stati creati altri materiali di progetto, alcuni dei quali visualizzabili in figura 127, come per esempio la Pietra d’Istria, di colore avorio, il Porfido Rosso Antico, di colore rosso, e il Serpentino, di colore verde.

Per le porte, è stato duplicato più volte il materiale “Legno” presente di *default* in Revit, associandolo al “Quadro” delle stesse e modificandone il colore a seconda della realtà.

Occorre sottolineare che nel caso delle porte, così come per i tetti, i materiali da definire sono molteplici. Per le prime sono infatti da definire i materiali di “quadro”, “montante”, “maniglia”, “inserto” e “cornice”; per i secondi, occorre definire il materiale in corrispondenza delle funzioni “sostrato”, “struttura” e “finitura”.

- 3) L'informazione sull'**anno** in cui un singolo **componente** è stato **restaurato**, si è scelto di inserirla come “parametro di progetto”. Si vuole sottolineare che si sarebbero potute aggiungere anche altre informazioni, come per esempio i degradi subiti dai singoli elementi, sempre ricorrendo alla creazione di un nuovo parametro di progetto.

Si tratta di una sorta di contenitore di informazioni, che viene definito e aggiunto a più categorie di elementi all'interno di un progetto. La sua particolarità consiste nell'essere specifico del progetto cui si fa riferimento e nel non poter essere condiviso con altri progetti o famiglie.

Per ovviare a tale problema, occorre definire innanzitutto dei parametri condivisi, in quanto utilizzabili in più famiglie e progetti; tali parametri consentono di aggiungere dati specifici, non ancora definiti in un *file* di famiglia o in un modello di progetto, memorizzandoli in un *file* indipendente da essi.

Nel caso specifico, per il LoD4 è stato utilizzato il comando “Gestisci – Parametri condivisi”, si è salvato un *file* .txt, in cui è stato inserito il nome da attribuire al parametro, nonché “anno_restaurato”, e si è creato il parametro condiviso [Fig. 128].

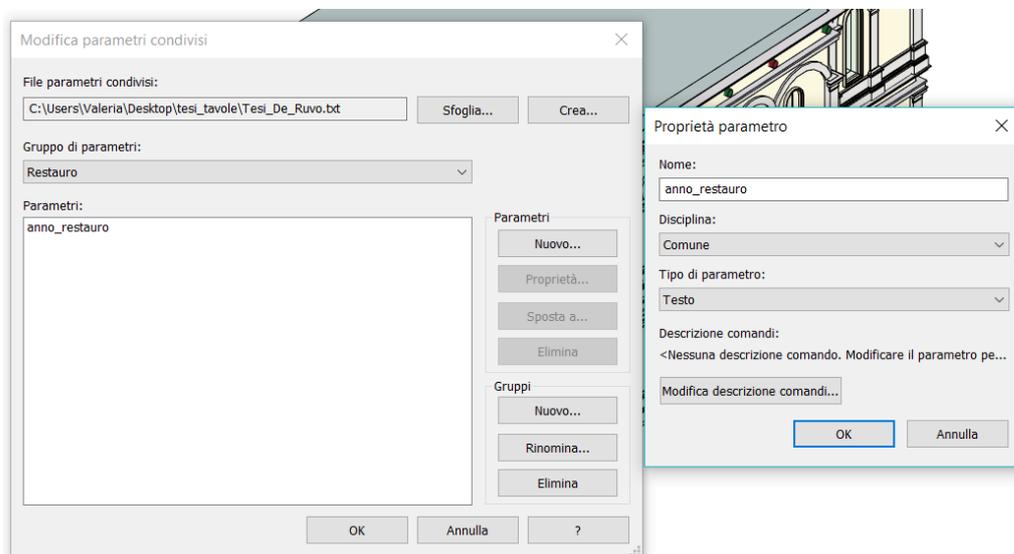


Figura 128 – Creazione del parametro condiviso “anno_restaurato”. Schermata da Revit 2018.

Al fine di rendere visibile tale parametro nelle proprietà delle famiglie di Revit, è stato necessario cliccare sul comando “Gestisci – Parametri di progetto – Aggiungi”, si è specificata come tipologia di parametro quello condiviso, e si è

selezionato “anno_restauro” come parametro di “Istanza”²⁷ per le seguenti categorie: “Finestre”, “Gruppi di modello”, “Massa”, “Materiali”, “Modelli generici”, “Muri”, “Pavimenti”, “Pilastrini”, “Porte”, “Tetti” [Fig. 129].

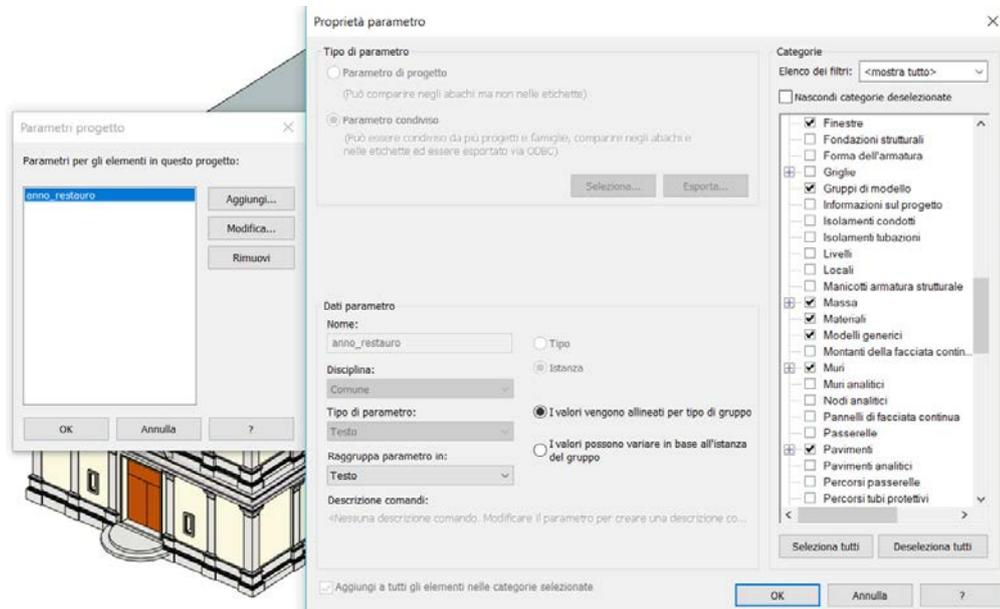


Figura 129 – Creazione parametro di progetto per le categorie contrassegnate con una spunta. Schermata da Revit 2018.

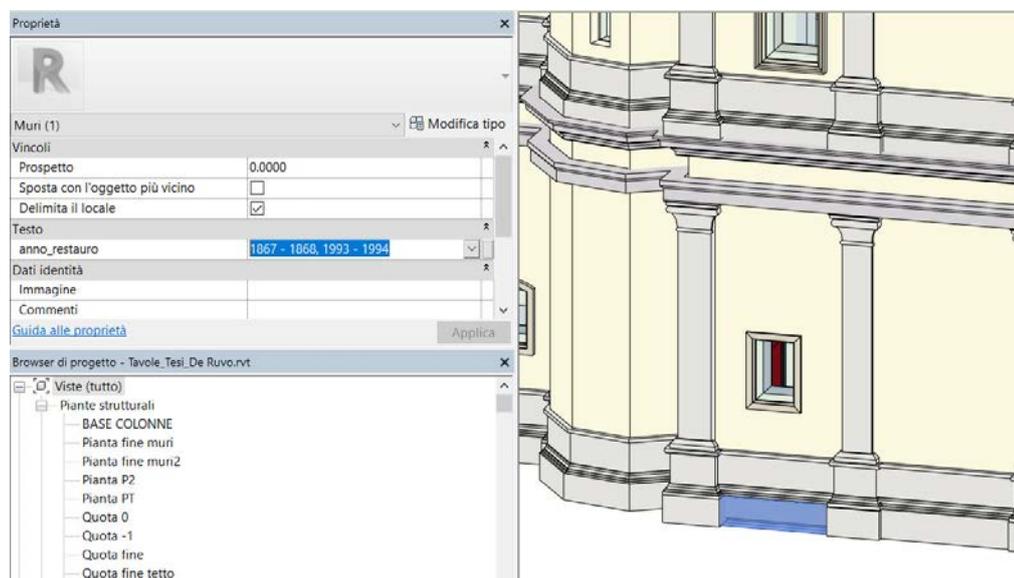


Figura 130 – Inserimento dell’informazione relativa all’anno in cui il basamento selezionato in blu è stato restaurato. Schermata da Revit 2018.

²⁷ È stata selezionata l’opzione “Istanza” anziché “Tipo”, perché in questo modo il parametro di progetto è associato al singolo elemento, appartenente a una certa famiglia. Non è detto infatti che elementi appartenenti alla stessa famiglia siano stati restaurati necessariamente nello stesso anno.

In questo modo, per tutte le categorie selezionate e corrispondenti ad alcune delle famiglie presenti nel *software* Revit, è stato possibile non solo visualizzare nella finestra delle “Proprietà” il parametro “anno_restauero” creato, ma è stato possibile compilarlo [Fig. 130], ricavando le informazioni dal libro già citato, a cura di M. Piana e W. Wolters.

6. Il popolamento dell'EID

Il *database* interoperabile europeo implementato per il progetto ResCult, è stato popolato con le geometrie dei tre casi studio.

Nei paragrafi successivi si riportano le operazioni svolte esclusivamente per il caso studio di Venezia.

Le procedure eseguite hanno consentito di valutare come all'interno di un *database* già strutturato e con una forte componente spaziale e territoriale, poter inserire due modelli tridimensionali, costruiti in ambiente CAD e BIM, di un bene culturale, evidenziando l'interoperabilità con il GIS 3D e le problematiche riscontrate.

6.1 Dispositivo e *software* utilizzati

Per poter popolare l'EID, in via preliminare è stato necessario installare una serie di *software*, in aggiunta al sistema di informazione geografica QGIS. Di quest'ultimo è stata scaricata la versione "Desktop 3.4.3".

Si è proceduto al *download* della versione "9.6.10" di PostgreSQL, anch'esso rilasciato con licenza libera e scaricabile via Web. Si tratta di un DBMS²⁸ relazionale a oggetti, che utilizza il linguaggio SQL per eseguire delle *query* sui dati, conservati come un insieme di tabelle contenute all'interno di uno schema.

La scelta di PostgreSQL per l'implementazione dell'EID di ResCult, è dovuta alla possibilità, mediante l'estensione PostGIS, di effettuare *query* geospaziali sul *database*; in aggiunta, esso risulta compatibile con tutti i principali sistemi operativi e presenta innumerevoli funzionalità.

Infine è stato scaricato via Web PgAdmin4, versione "3.4", il quale costituisce un *client* grafico, in grado di amministrare in modo semplificato i *database* PostgreSQL. Si tratta di un'applicazione multiplatforma che utilizza il linguaggio C++, indirizzata sia agli amministratori del *database*, che agli utenti. Inoltre è in grado di gestire i permessi

²⁸ *Database Management System*, Sistema di gestione di basi di dati.

prelevandoli dal *database* PostgreSQL e consente la creazione e il popolamento delle tabelle.

Per lo studio della presente tesi, è stato utilizzato un dispositivo con le seguenti caratteristiche:

- Sistema operativo Windows 10 Home 64 bit;
- Processore Intel Core i7 – 4710HQ;
- Memoria RAM 16 GB;
- Scheda grafica NVIDIA GeForce 840M.

6.2 Creazione dell'EID

Il *database* interoperabile europeo del progetto ResCult è stato creato servendosi del *client* PgAdmin, secondo la struttura pensata e illustrata nel capitolo 2 della presente tesi. Pertanto ciascuna tabella, coincidente con le diverse entità del modello logico, è stata codificata combinando le classificazioni esistenti a livello europeo in merito a beni culturali, oggetti cartografici, rischi e pericoli, seguendo lo standard INSPIRE, e definendo tutte le colonne al loro interno, nonché i relativi campi. Il tutto è stato inserito all'interno dello schema rinominato “rescult” [Fig. 131].

In figura 131 si riporta la struttura del *database*, vista dal *client* grafico PgAdmin e utilizzato per procedere col popolamento mediante *software* QGIS. Inizialmente esso presenta 69 tabelle, ciascuna delle quali contenente i relativi attributi.

Per quanto riguarda il caso studio di Venezia, i dati che caratterizzano l'EID sono stati estratti dal Geoportale della Regione Veneto, selezionando un sottoinsieme più semplificato, ritenuto maggiormente utile ai fini della fruizione del *database*. Si tratta di *shapefile* contenuti nella Carta Tecnica Regionale Numerica (CTR) alla scala 1:5000 e migrati in un *database* cartografico gestibile in ambiente GIS.

Di tutti gli *shapefile* scaricati, si è scelto di inserire nell'EID le geometrie relative all'idrografia, ai trasporti e agli edifici, popolando rispettivamente le tabelle “*hy_hydroobject*”, “*tn_commontransportelement*” e “*buabstractotherconstruction*” [Fig. 132], progettate ed esplicitate nel capitolo 2.

In aggiunta, è stato caricato un servizio gratuito, Open Street Map, che consente di inserire delle mappe, nonché dati *raster*, all'interno del progetto. Nel nostro caso la mappa importata è stata rinominata “*OSM Standard*” [Fig. 132].

L'ulteriore dato *raster* inserito nel progetto è costituito dal modello digitale del terreno, indicato con la dicitura “*el_elevation_grid_coverage_lod0_33n_it_low*” e visualizzabile in scala di grigi in figura 132.

Si vuole precisare che per l'inserimento dei dati *raster*, è stato necessario utilizzare lo script “*raster2psql*”, eseguito da riga di comando tramite l'applicativo *psql* di PostgreSQL.

“I dati *raster* e vettoriali gestiti attraverso un *software* GIS, sono sempre riferiti a un sistema di coordinate”²⁹. In questo caso è stato utilizzato il sistema di riferimento UTM–WGS84, con fuso di appartenenza “33”, corrispondente al sistema di riferimento ufficiale italiano EPSG 32633.

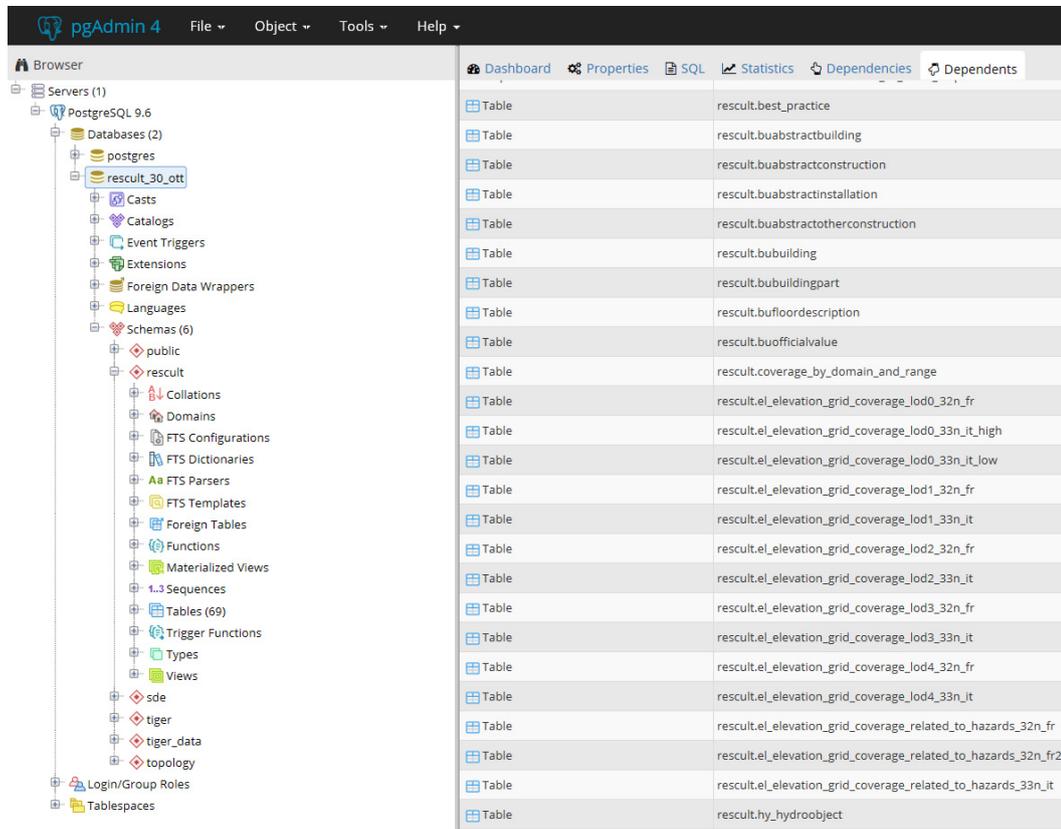


Figura 131 – Schermata da PgAdmin della struttura dell'EID. È stato creato il database “*rescult_30_ottobre*” che contiene al suo interno sei schema. Nello schema “*rescult*” sono contenute le 69 tabelle rinominate secondo lo standard INSPIRE, alcune delle quali elencate sulla destra in figura.

²⁹ “Architettura e natura di paesaggi archeologici. Analisi spaziali integrate in ambiente WEB – GIS per la conservazione e la comunicazione della memoria storica: il Parco Archeominerario di San Silvestro”, p. 172, tesi di Laurea Magistrale.

Autrice: E. Colucci; relatrice: A. Spanò; correlatori: D. Brocchini, F. Chiabrando, F. Noardo.

Di seguito si riporta una schermata da *software* QGIS [Fig. 132], per visualizzare su mappa quanto realizzato in PostgreSQL mediante PgAdmin.

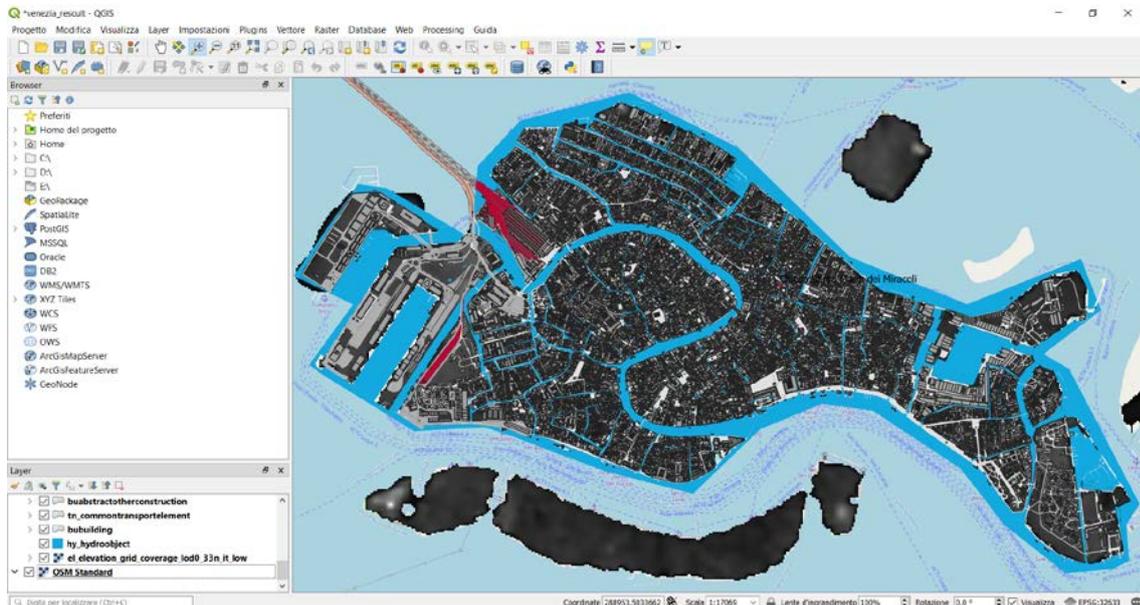


Figura 132 – Schermata da QGIS degli shapefile e dei dati raster utilizzati per il popolamento dell'EID di ResCult con le geometrie del caso studio di Venezia.

Per la tabella “*bubuilding*” si vuole procedere al suo popolamento, inserendo le geometrie del LoD3 e del LoD4 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli [vedasi paragrafi 6.4 e 6.5].

Tali procedure sono state eseguite con *software* QGIS, in quanto *open source* e dunque facilmente reperibile per chiunque. Esso consente inoltre la visualizzazione sia di dati bidimensionali che tridimensionali all’interno della stessa interfaccia, se si abilita a ciascun *layer* il visualizzatore 3D e si esplicita il “Blocco altitudine” (“Relativo” o “Assoluto”).

Nello specifico, accedendo al sito di ResCult (<https://www.rescult-project.eu>), cliccando sulla sezione “*European Interoperable Database (EID)*” e inserendo le credenziali richieste, è stato possibile interagire con l’interfaccia “*3D Models*” [Fig. 133], all’interno della quale sono presenti i *file* in formato *.qcz* dei tre casi studio. È stato dunque scaricato il *file* QGIS relativo al caso studio di Venezia [Fig. 133], utilizzandolo come progetto da connettere all’EID al fine di consentirne il popolamento.

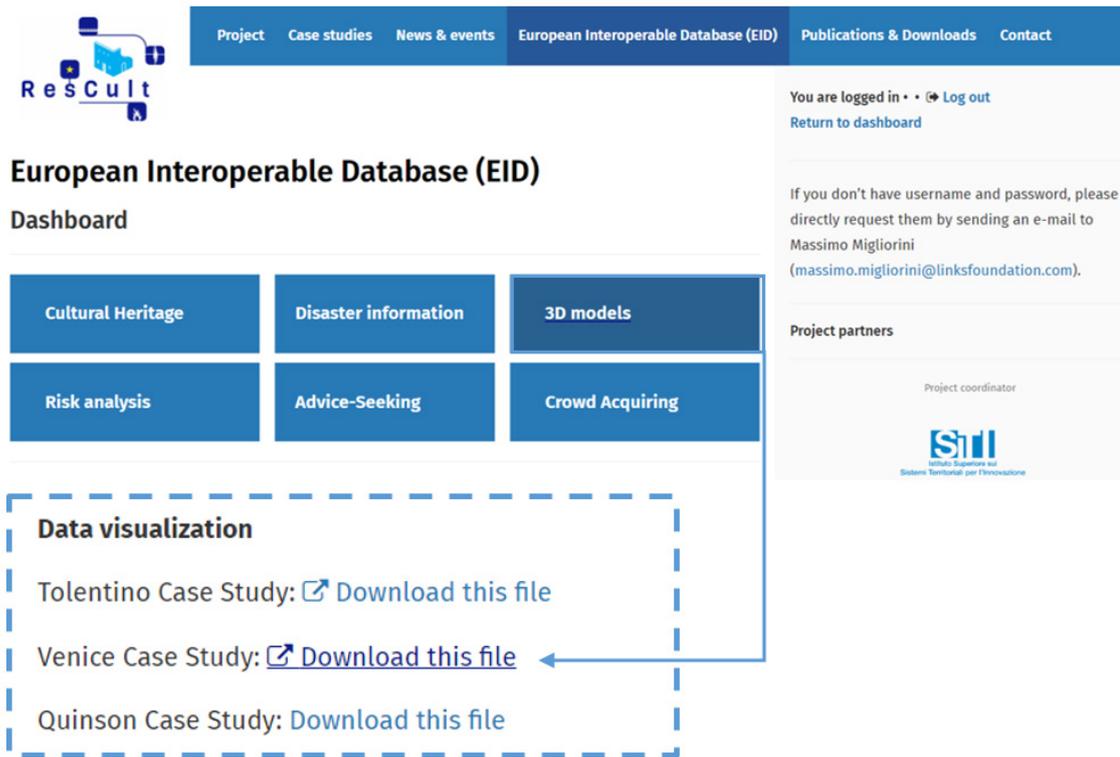


Figura 133 – File in formato QGIS scaricato dal Web, relativo al caso studio di Venezia e utilizzato come progetto da connettere all'EID per procedere col suo popolamento.

6.3 Connessione al database

Per poter aprire il *file* sul caso studio di Venezia e visualizzare quanto riportato in figura 132, è stato necessario connettere il *software* QGIS all'EID.

Questa procedura costituisce la fase preliminare da compiere per consentire l'inserimento delle geometrie e delle informazioni associate al LoD3 e al LoD4.

Nello specifico, il DBMS è stato connesso a un *server* unico al quale più utenti si sono potuti collegare per l'interazione con i dati.

Come prima operazione si è dunque configurato il nome del *database* ("rescult_30_ott"), l'indirizzo IP (*host = localhost*³⁰) e la porta su cui è esposto l'EID (5432) [Fig. 134]. In aggiunta, è stato necessario inserire le credenziali, nonché "Nome utente" e "Password" [Fig. 134] impostate durante la fase di installazione di PostgreSQL.

³⁰ Impostando l'indirizzo IP come *localhost*, implica che per il presente studio di tesi è stata utilizzata una copia del *database* "rescult_30_ott", in esecuzione sulla macchina locale.

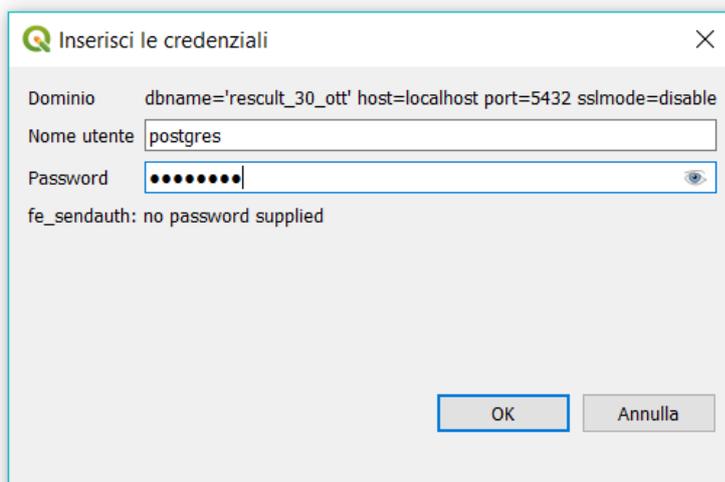


Figura 134 – Inserimento delle credenziali per l'accesso all'EID con il software open source QGIS.

In figura 135 si nota come QGIS supporta un *client* grafico per la visualizzazione dell'EID.

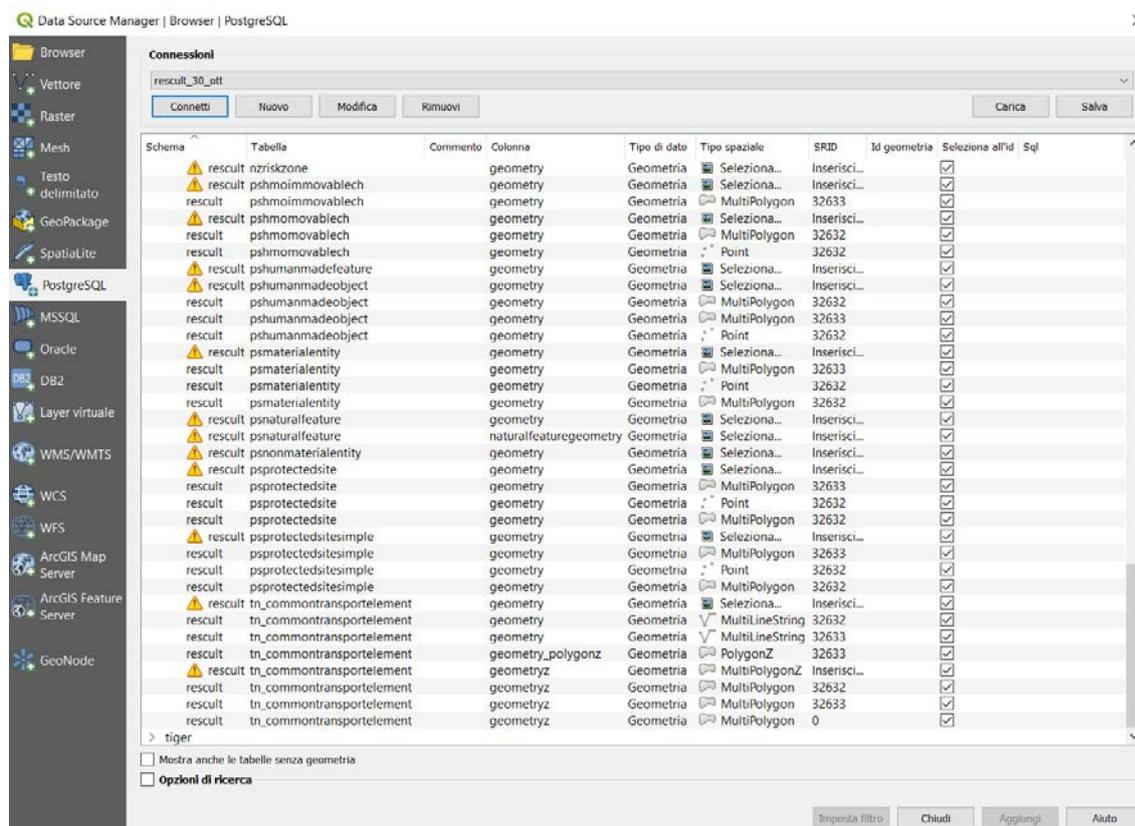


Figura 135 – Visualizzazione dell'EID tramite l'interfaccia grafica di QGIS.

6.4 Conversione del LoD3 in formato GIS

Di seguito si riporta uno schema che descrive la sequenza dei *software* utilizzati, al fine di inserire il LoD3 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli all'interno del *database* [Fig. 136].

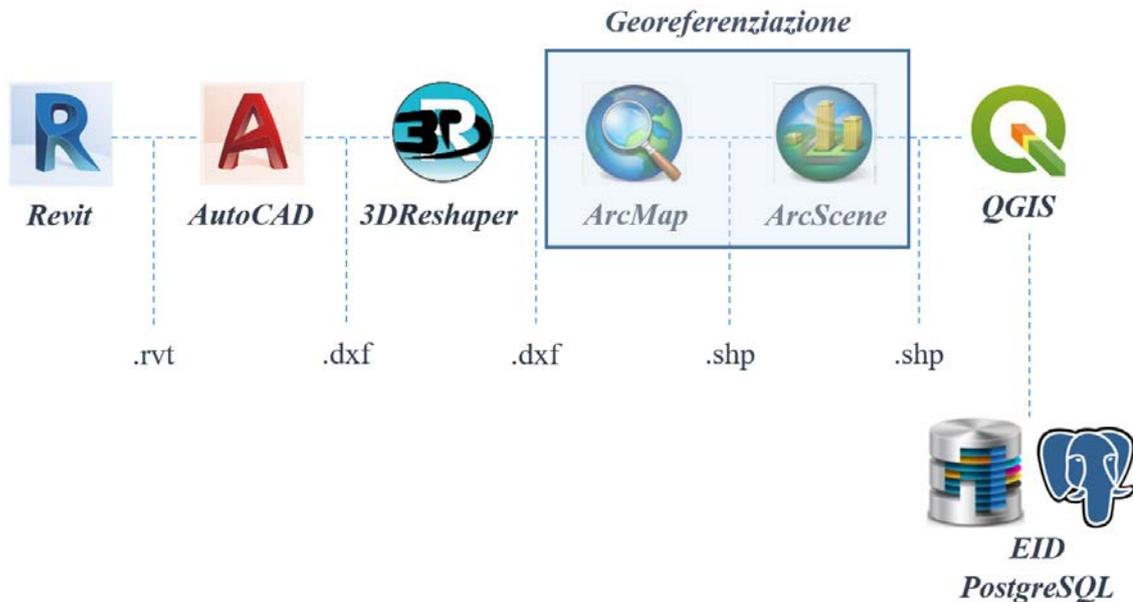


Figura 136 – Workflow per l'inserimento del LoD3 nell'EID di ResCult. Sequenza dei software dei quali ci si è serviti.

Come si evince dalla figura 136, la conversione di dati Revit in un formato compatibile col GIS non è così semplice e richiede una serie di passaggi intermedi.

Come prima operazione, partendo dal *software* **Revit**, si è esportato il LoD3 in formato **.dxf**, leggibile con *software* **AutoCAD**. In automatico tale conversione ha generato una serie di *layer*, corrispondenti alle tipologie di geometrie costruite con le famiglie disponibili in Revit. Il *file* ottenuto è stato successivamente aperto con **3DReshaper** e risalvato in formato **.dxf** prima di essere importato in **ArcMap**.

All'interno di quest'ultimo, è stato possibile esportare i dati in uno *shapefile* con geometrie *multipatch*, rinominandolo "SMM_LOD3_1".

Non avendo un modello tridimensionale georiferito, è stato necessario importare nel *file* GIS lo *shapefile* del Comune di Venezia "UN_VOL", scaricato dal Geoportale della Regione Veneto, metricamente e spazialmente corretto.

I due *shapefile* sono stati inoltre importati nel *software* **ArcScene**, al fine di valutare anche i dati altimetrici.

Interagendo con i due *software* GIS e sfruttando i comandi relativi a spostamenti, rotazioni e variazioni di scala, è stato possibile modificare l'**assetto spaziale** dello *shapefile* del LoD3 e le sue dimensioni, sulla base dell'unità volumetrica costituente la Chiesa di Santa Maria dei Miracoli.

In figura 137 è possibile visualizzare il risultato ottenuto.

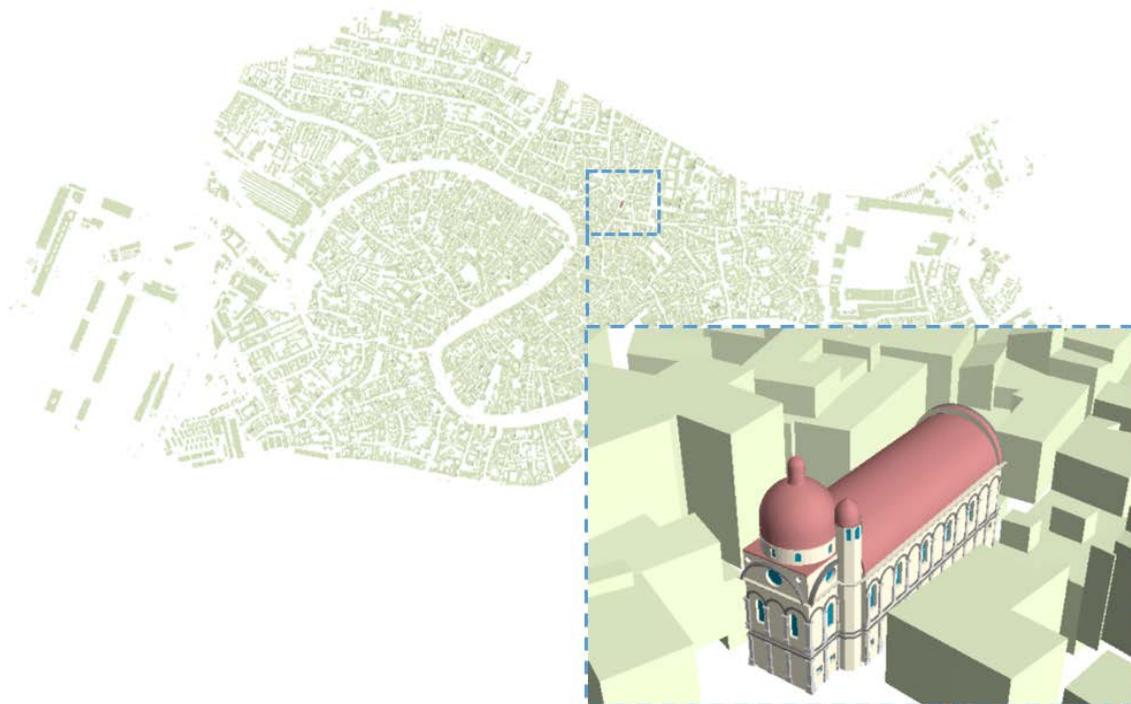


Figura 137 – Georeferenziazione manuale del LoD3 della Chiesa, sulla base dello *shapefile* relativo alle unità volumetriche, contenente quello che è stato utilizzato come LoD1 (volume 3D senza modellazione dei tetti) della stessa. Schermata da ArcScene.

Aperto la tabella degli attributi di “SMM_LOD3_1”, è possibile conoscere il numero totale di elementi che lo costituiscono [Fig. 138]; il campo “*Layer*” al suo interno viene compilato in automatico sulla base dei *layer* che si sono generati a loro volta dalla conversione Revit – AutoCAD [Fig. 138].

In ArcScene, a ciascuno di essi è stato associato manualmente un colore distinto, com'è possibile constatare dallo zoom di figura 137.

FID	Shape *	Layer
0	MultiPatch M	A-COLS
1	MultiPatch M	A-DOOR
2	MultiPatch M	A-FLOR
3	MultiPatch M	A-GLAZ
4	MultiPatch M	A-ROOF
5	MultiPatch M	A-WALL
6	MultiPatch M	Decorations

Figura 138 – Tabella degli attributi dello *shapefile* del LoD3. Schermata da ArcScene.

Si vuole sottolineare che per il LoD3 è stata eseguita questa sequenza di operazioni, data la presenza di sole geometrie all'interno del modello.

Il discorso cambia per il LoD4, avendo associato agli elementi modellati delle informazioni [vedasi paragrafo 6.5].

6.4.1 L'inserimento nell'EID

Una volta modificato opportunamente lo *shapefile* del LoD3, si è avviata la connessione al *database*, come descritto nel paragrafo 6.3 e si è aperto il *file QGIS* di Venezia, scaricato sul sito di ResCult.

I dati disponibili al suo interno sono stati dapprima organizzati secondo vari gruppi, coincidenti con i diversi livelli di dettaglio previsti per il caso studio in esame [Fig. 139].

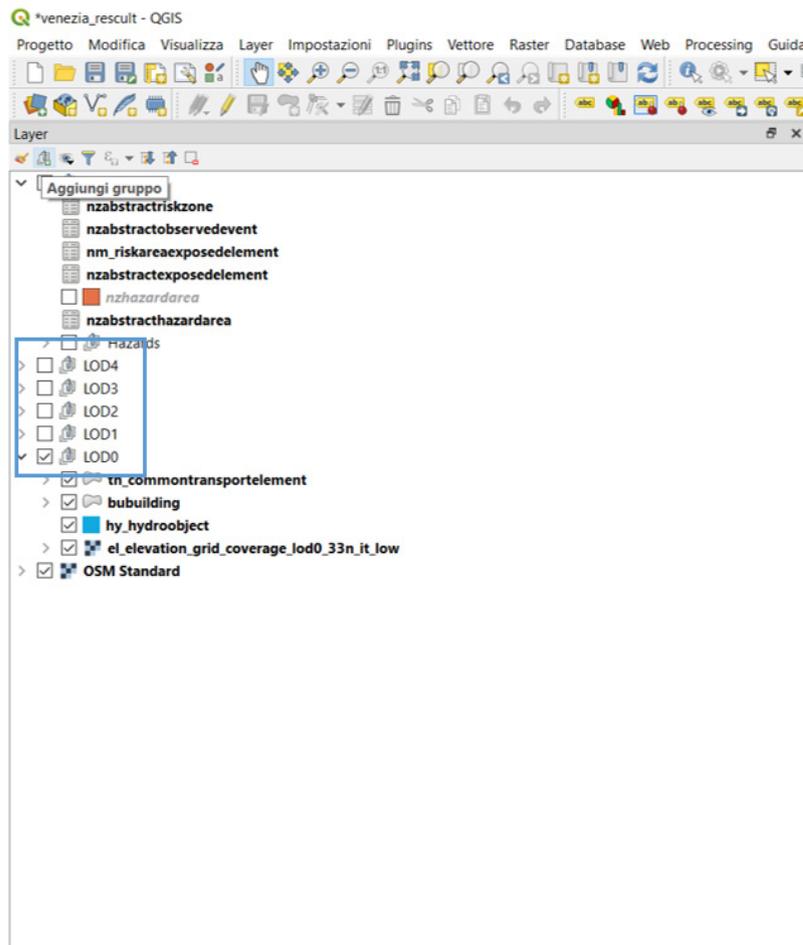


Figura 139 - Pannello dei layer organizzato secondo vari gruppi, coincidenti con i diversi livelli di dettaglio previsti per il caso studio di Venezia. Schermata da QGIS.

Nel gruppo “LOD3”, servendosi del Gestore della Sorgente Dati, è stata aggiunta la tabella dell'EID rinominata “*bubuilding*” [Fig. 140] e inizialmente vuota [Fig. 141].

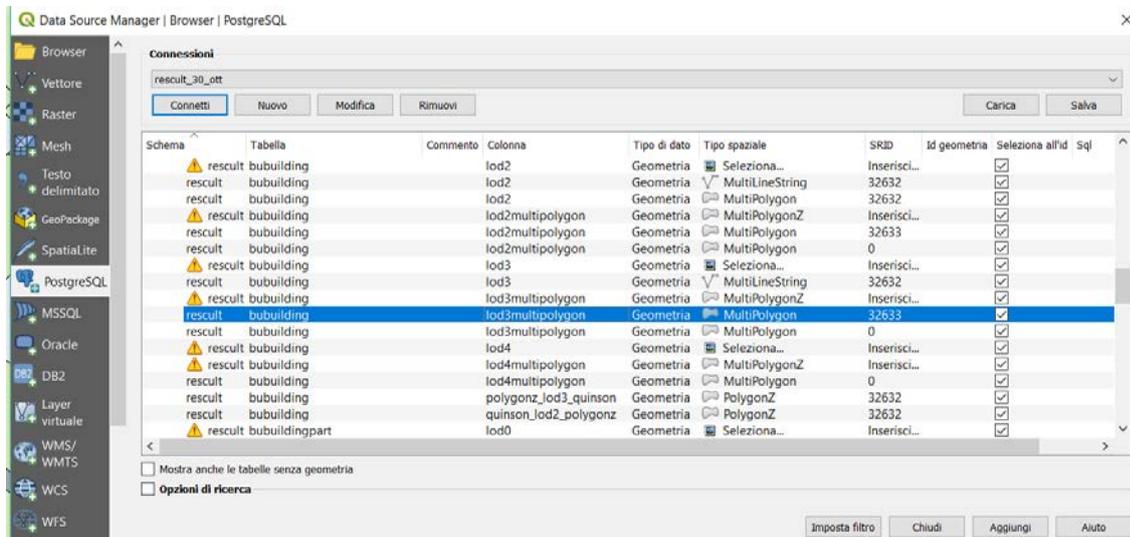


Figura 140 – Aggiunta sulla mappa del layer selezionato, corrispondente a una delle tabelle costruite nell'EID. Schermata da QGIS.

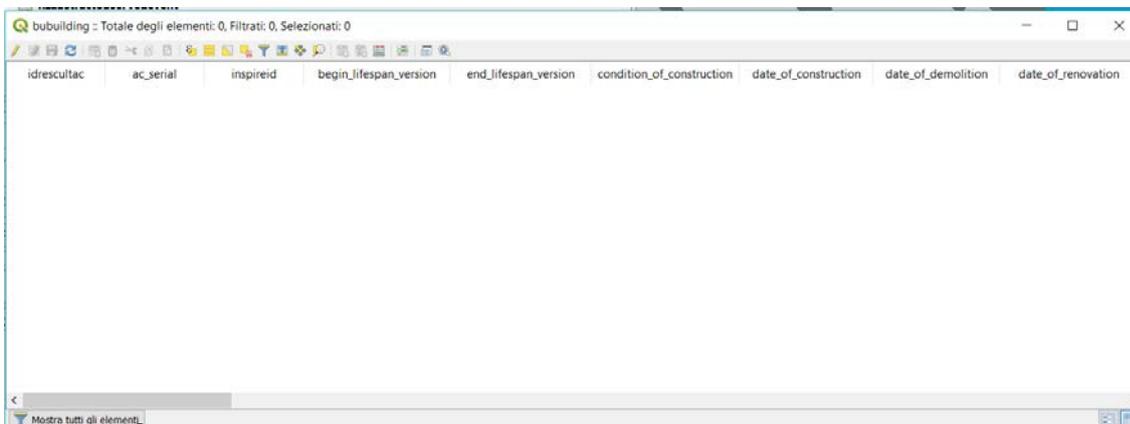


Figura 141 – Tabella degli attributi di “*bubuilding*” importata nel gruppo “LOD3”. Schermata da QGIS.

Per poterla popolare, è stato necessario importare nel progetto il vettore corrispondente allo *shapefile* del LoD3 della Chiesa [Fig. 142]; abilitandone le modifiche e selezionando tutte le geometrie, si è utilizzato il comando “copia”.

A questo punto sono state attivate le modifiche alla tabella “*bubuilding*” del *database*, e si è cliccato sul comando “incolla”.

Una volta salvate e disattivate le modifiche, si è potuto eliminare dal progetto lo *shapefile* “SMM_LOD3_1” e lasciare solamente la tabella dell’EID implementato con PostgreSQL, ormai contenente anche le geometrie del modello tridimensionale corrispondente al livello di dettaglio 3 [Fig. 143].

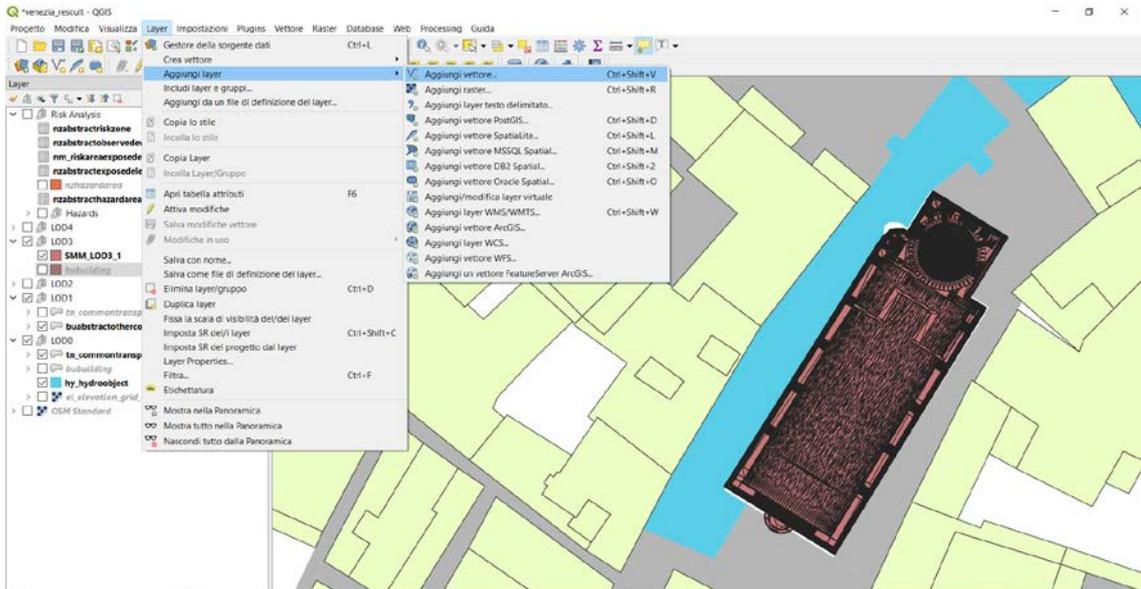


Figura 142 – Importazione nel progetto QGIS dello *shapefile* relativo al LoD3 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli.

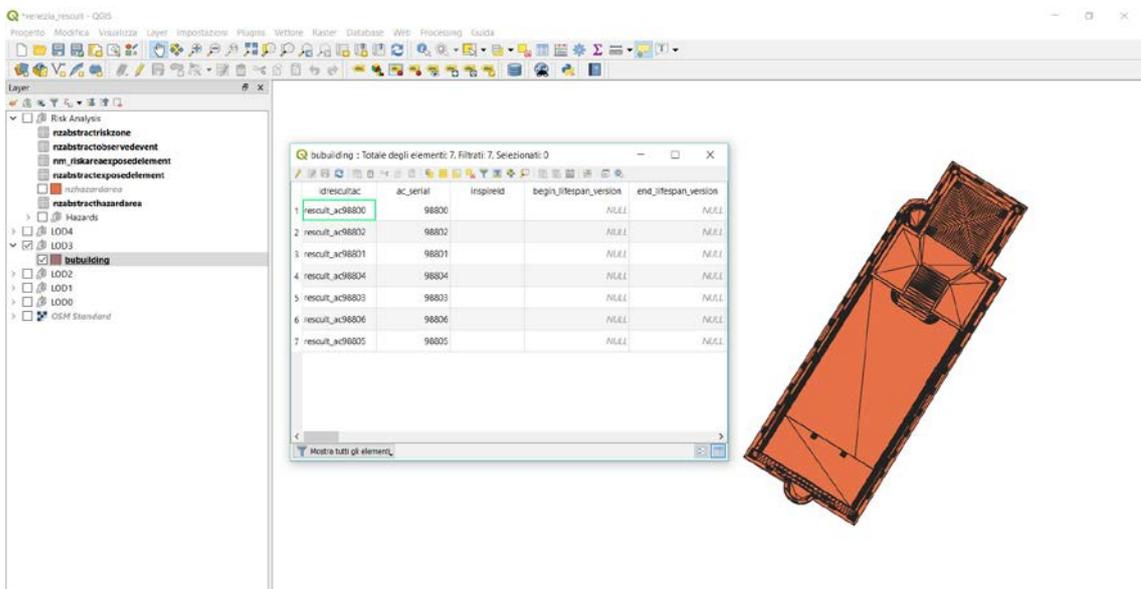


Figura 143 – Tabella “bubuilding” dell’EID correttamente popolata con le geometrie dello *shapefile* relativo al LoD3 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli. Schermata da QGIS.

Occorre sottolineare che i campi visibili in figura 138 e relativi allo *shapefile* del LoD3, una volta effettuato il popolamento del *database* risultano persi.

Inoltre abilitando la mappa 3D, cliccando con il tasto destro sulla tabella “*bubuilding*” e utilizzando la sequenza di comandi “Proprietà – Mappa 3D – Abilita visualizzatore 3D – Blocco altitudine Assoluto”, il *software* QGIS ha consentito di visualizzare anche in 3D le geometrie in essa inserite [Fig. 144].

Tuttavia non si ha più una distinzione dei *layer* per colori, e non è possibile impostarli manualmente, in quanto non è stata ancora abilitata tale funzione per gli elementi tridimensionali.

In aggiunta si vuole sottolineare che, appositamente per il presente progetto di ricerca, è stato creato e reso disponibile nella mappa 3D di QGIS il *plug-in* relativo all'identificazione degli elementi [Fig. 144], già presente per la mappa 2D, il quale consente di interrogarli e conoscerne le informazioni associate [Fig. 144].

Al momento questa funzionalità ignora le entità 3D create dai livelli delle mappe, identificando per esempio soltanto le caratteristiche sulla mappa del terreno, non evidenzia nella vista tridimensionale la *feature* selezionata, di cui si vogliono le caratteristiche, e presuppone che la vista 3D abbia lo stesso sistema di riferimento di coordinate (CRS) e lo stesso raggio di ricerca della mappa 2D.

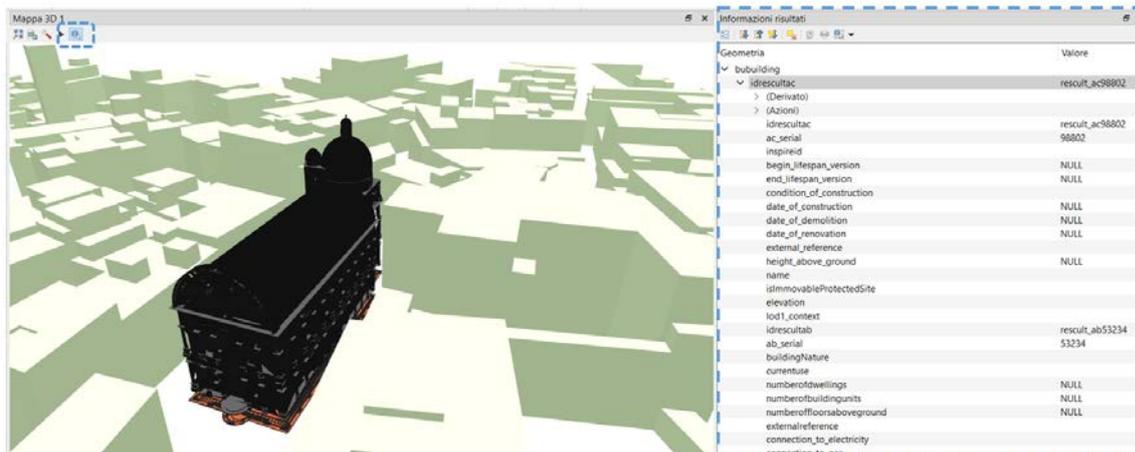


Figura 144 – Attivazione della mappa 3D per il LoD3 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli. Cliccando sul simbolo cerchiato in figura (in alto a sinistra) e interrogando uno degli elementi visibili su mappa, si apre il pannello delle informazioni associate a esso (a destra); schermata da QGIS.

Confrontando la figura 144 e 137 si può notare la notevole differenza sulla qualità di visualizzazione tra un *software open source* (QGIS) e uno a pagamento (ArcScene).

6.5 Conversione del LoD4 in formato GIS

Per convertire il LoD4 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli da un formato BIM a uno compatibile con il GIS 3D, avendo inserito mediante tre diverse metodologie delle informazioni descrittive in forma di attributi, è stato necessario sperimentare procedure alternative rispetto a quanto effettuato per il LoD3.

I dati BIM sono molto complessi; l'obiettivo è stato quello di conservarli durante le varie trasformazioni effettuate da un *software* all'altro.

In tale ottica si è scelto di testare le funzionalità offerte da FME, un *software* prodotto dall'azienda *Safe Software*, che supporta centinaia di formati di dati e consente di effettuare conversioni tra gli stessi; FME risulta inoltre in grado di ristrutturare un modello di dati, servendosi di trasformatori che manipolano opportunamente il risultato che si vuole ottenere.

Nello specifico è stato utilizzato il *framework* FME Desktop, che comprende le applicazioni FME Workbench³¹ e FME Data Inspector³².

Occorre sottolineare che si tratta di un *software* a pagamento, ma è possibile scaricare la versione di prova e utilizzarla per 30 giorni; per il presente studio di tesi, è stata richiesta un'ulteriore estensione di 30 giorni.

A titolo esemplificativo, di seguito si vuole proporre una tabella che illustri i vantaggi di FME rispetto al *software* Revit, utilizzato per la modellazione del caso studio in esame [Tab 32].

REVIT	FME
<ul style="list-style-type: none"> - Esporta formati di dati eccessivamente complessi (.ifc); - Esporta formati di dati eccessivamente semplici (.dwg). 	<ul style="list-style-type: none"> - Conserva le informazioni di cui si ha bisogno; - Scarta le informazioni di cui non si ha bisogno.

Tabella 32 – Potenzialità di un *software* BIM come Revit (a sinistra); potenzialità del *software* FME (a destra).

³¹ FME Workbench, utilizzato per la creazione di appositi *workspace*, al fine di convertire dati da un formato a un altro.

³² FME Data Inspector, utilizzato per ispezionare i dati inseriti nel *workspace* di FME Workbench.

In aggiunta, FME dispone di un *plug-in*³³ gratuito per Autodesk Revit, che consente di esportare i modelli BIM in un formato *.rvz*, essenzialmente equivalente a un *file .ifc* compresso.

In figura 145 è stato rappresentato il flusso di lavoro eseguito per inserire il modello HBIM della Chiesa all'interno dell'EID, evidenziando i *software* utilizzati e il formato dei dati di *output*, di volta in volta ottenuto.

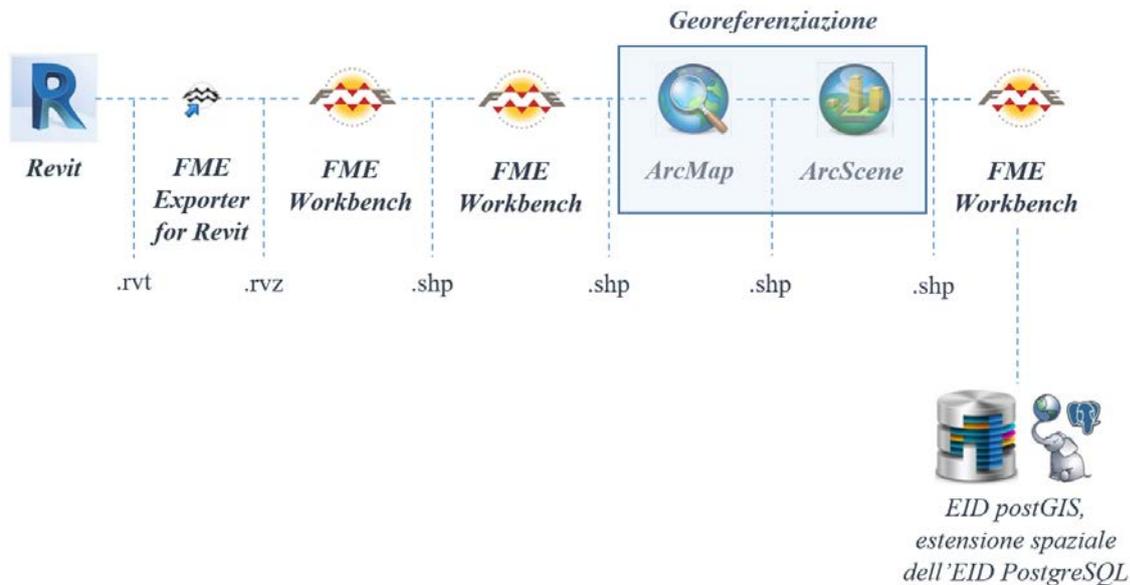


Figura 145 - Workflow per l'inserimento del LoD4 nell'EID di ResCult.

Aprendo il *file Revit* (*.rvt*) del LoD4 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli, servendosi del *plug-in* al suo interno **FME Exporter for Revit**, è stata possibile la conversione in formato *.rvz*.

Per ottenerlo è stato necessario settare una serie di parametri; la procedura seguita è illustrata al seguente *link*: <https://knowledge.safe.com/articles/597/how-to-use-fme-exporter-for-revit.html>.

Il formato *.rvz* è compatibile con il *software* **FME Workbench**, che si è scelto di utilizzare per il raggiungimento degli obiettivi prefissati.

Come si evince dalla figura 145, sono stati creati tre differenti *workspace* con lo stesso *software*. Questo è giustificato dal fatto che FME riconosce un *file* di *input*³⁴, e un *file* di *output*³⁵.

³³ *FME Exporter for Revit*, utilizzato per la conversione del *file* Revit in un formato compatibile con FME Workbench.

Pertanto ciò che costituisce il “*Writer*” nel primo *workspace*, diventa il “*Reader*” in quello successivo e così via, giungendo fino all’ultimo “*Writer*”, corrispondente direttamente al formato **database PostGIS, estensione spaziale di PostgreSQL**, che ha permesso la creazione di una nuova tabella all’interno dell’EID.

Prima della generazione dell’ultimo *workspace*, è stato necessario utilizzare **ArcMap** e **ArcScene** per **georeferenziare** il modello .shp del LoD4.

Per una trattazione più approfondita in merito alla costruzione dei vari *workspace*, si rimanda ai paragrafi successivi.

6.5.1 Costruzione del primo *workspace*

Prima di usufruire del *software* FME Workbench, ci si è serviti di FME Data Inspector, al fine di valutare come i dati derivanti dalla conversione Revit – FME Exporter for Revit, venissero letti.

Aperto il file .rvz rinominato “Tavole_Tesi_De Ruvo” [Fig. 146], è stato necessario impostare la modalità di lettura dei dati Revit [Fig. 146]; utilizzando la vista “*Building Elements with Hierarchy*” [Fig. 146], è stato possibile ottenere dati 3D, con le informazioni associate alle geometrie, in forma di attributi.

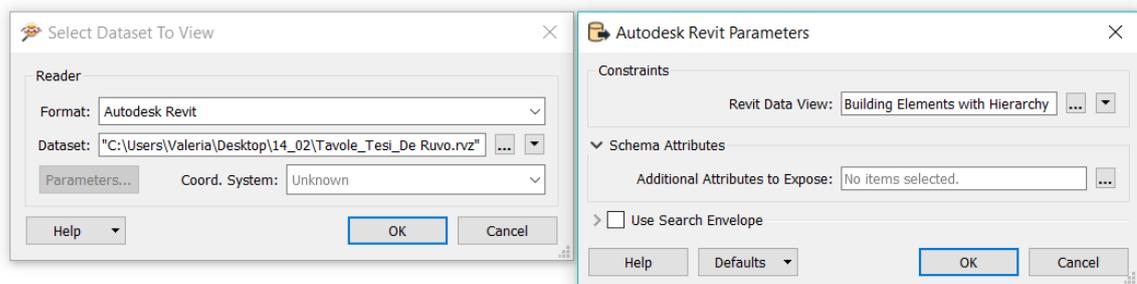


Figura 146 – Impostazione dei parametri per la visualizzazione del formato di file Autodesk Revit.
Schermata da FME Data Inspector.

³⁴ File di input, costituente quello che viene identificato come la *feature* “*Reader*” all’interno di FME Workbench.

³⁵ File di output, costituente quello che viene identificato come la *feature* “*Writer*” all’interno di FME Workbench.

Inoltre non avendo un sistema di coordinate associato, il campo “Coord. System” non è stato compilato [Fig. 146].

In figura 147, nel pannello di controllo del *display* (a sinistra), è possibile visualizzare come i dati Revit siano stati suddivisi e organizzati.

Delle dodici tabelle elencate, cinque sono prive di geometrie, tra cui la *feature* “*Building*” che contiene l’informazione inerente la **posizione geografica** (“*BuildingAddress.Country*” e “*BuildingAddress.Region*”) [Fig. 147], impostata manualmente in Revit [vedasi paragrafo 5.3.2, figura 121].

Secondo quanto visualizzato in FME Data Inspector, aprendo un *file* nuovo in FME Workbench, si è scelto di aggiungere come “*Reader*” il *file* **.rvz**, importando solo le sette *feature* con geometrie, più la *feature* “*Building*” [Figg. 148 e 149].

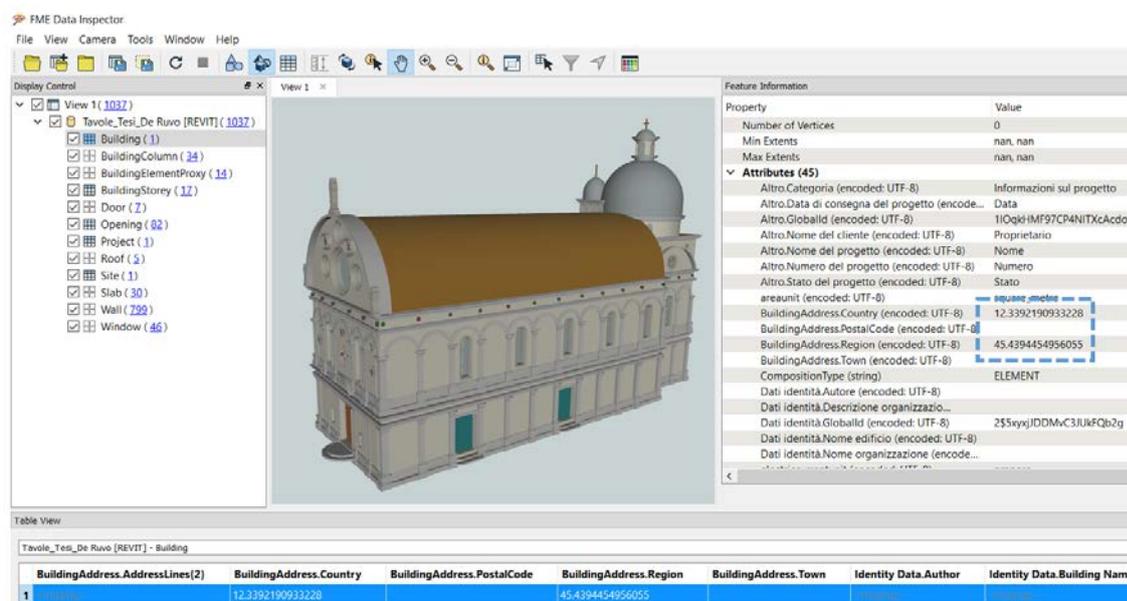


Figura 147 – Schermata da FME Data Inspector del file *.rvz*. Suddivisione in *feature* con dati geometrici e non (a sinistra nel “*Display Control*”); informazione sulla posizione geometrica (a destra nella “*Feature Information*” e in basso nella “*Table View*”).

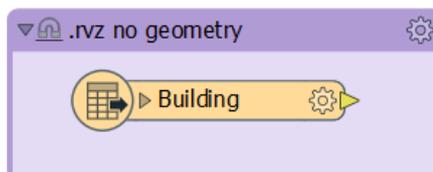


Figura 148 – Importazione della *feature* con l’informazione della posizione geografica. Schermata da FME Workbench.

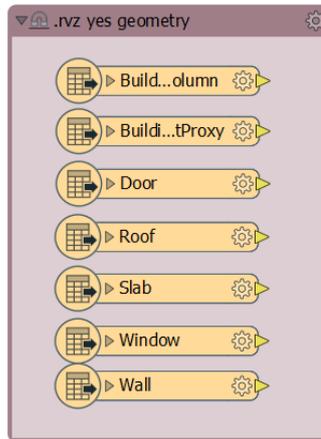


Figura 149 – Importazione delle sette feature con geometrie. Schermata da FME Workbench.

Come “**Writer**” è stato selezionato il formato di dati **ESRI Shapefile**, inserendo il sistema di riferimento UTM-WGS84, con fuso di appartenenza “33” e impostando una serie di parametri, come si può notare dalla figura 150.

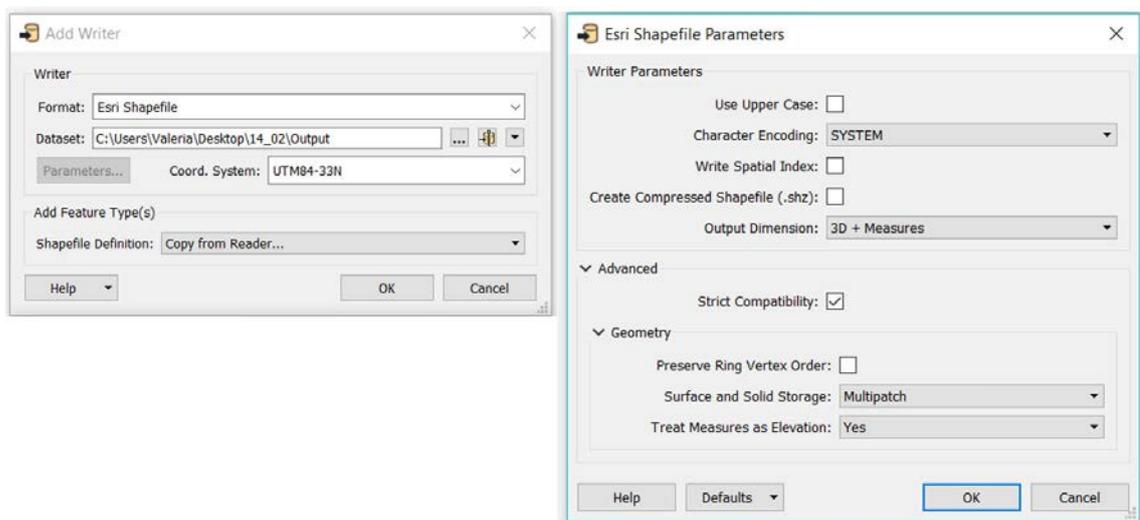


Figura 150 – Impostazione dei parametri inerenti il file di output scelto per la conversione. Schermata da FME Workbench.

Per ultimare il primo flusso di lavoro in FME Workbench, al fine di conservare le informazioni contenute nelle *feature* costituenti il “*Reader*”, è stato necessario combinare diversi trasformatori; dopo una serie di tentativi, è stata trovata la sequenza da utilizzare [Fig. 151].

Per la *feature* “*Building*”, le uniche informazioni che si vogliono conservare sono quelle relative alla latitudine e alla longitudine.

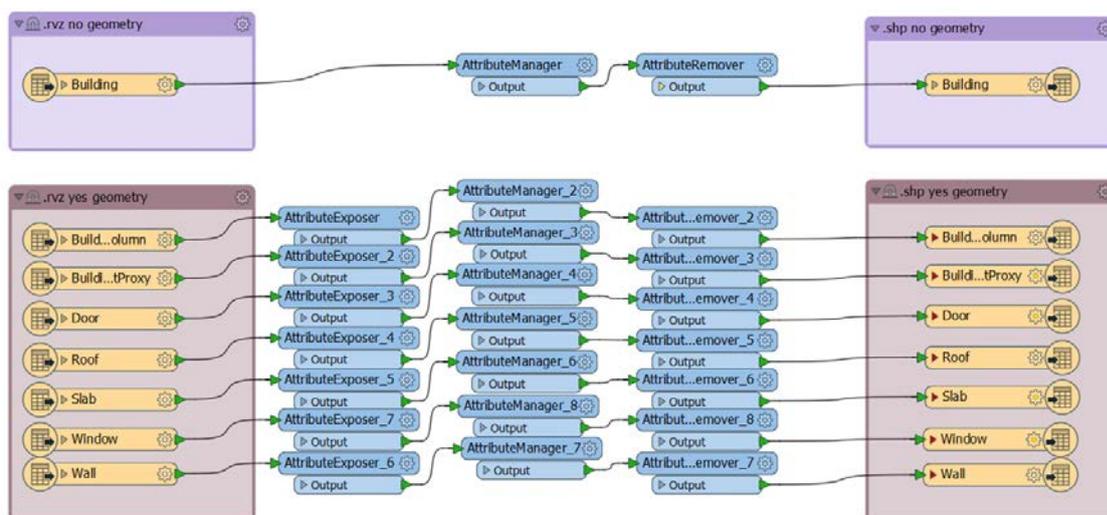


Figura 151 – Schermata da FME Workbench del primo workspace costruito.

Pertanto si è scelto di utilizzare il trasformatore “AttributeManager” [Fig. 152], in grado di modificare gli attributi, consentendone l’aggiunta di nuovi, di rinominarli, copiarli, eliminarli o riordinarli. Nel nostro caso sono stati semplicemente copiati dal formato di dati di *input* a quello di *output*, mentre per i valori da attribuire a ciascuno di essi, si è proceduto con la compilazione manuale [Fig. 152].

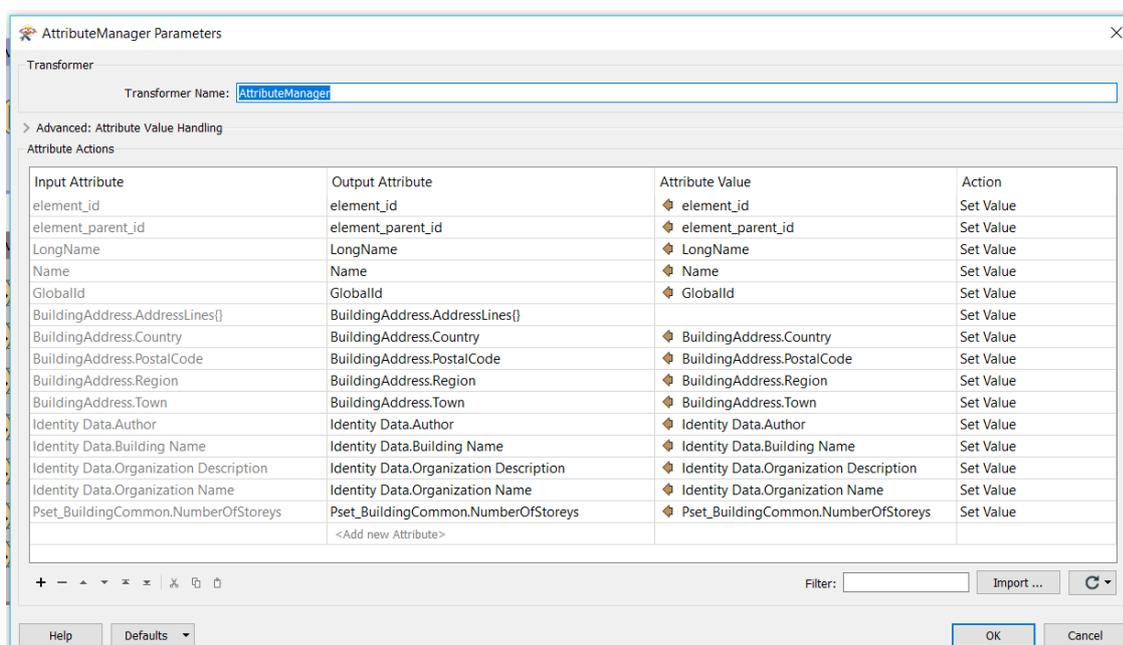


Figura 152 – Interfaccia del trasformatore “Attribute Manager”. Gli attributi di input sono quelli del file .rvz, quelli di output, del file .shp. I valori da associare agli attributi sono stati compilati manualmente così come in figura; schermata da FME Workbench.

Di tutti gli attributi in figura 152, volendo conservarne solo due, ci si è serviti del trasformatore “*AttributeRemover*”, che consente di scegliere manualmente quali informazioni visualizzare nel *file* di *output* [Fig. 153]; cliccando sull’ingranaggio della *feature* “*Building*” del *file* di *output*, è stato inoltre possibile rinominare personalmente gli attributi, così come appare in figura 153.

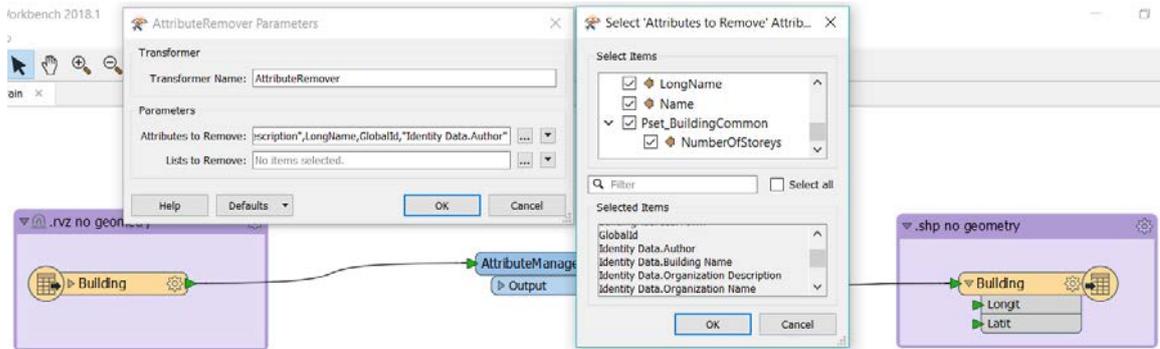


Figura 153 – Interfaccia del trasformatore “*AttributeRemover*”. Selezione degli attributi da rimuovere nello shapefile “*Building*”. Gli unici due che si è scelto di conservare sono stati rinominati opportunamente per riprendere la dicitura di figura 125; schermata da FME Workbench.

Per le altre *feature* dotate di geometrie, utilizzando FME Data Inspector, si è notato che molti attributi erano visibili nel pannello delle “*Feature Information*”, ma non nella “*Table View*” [Fig. 154]. Dunque non risultavano visibili neppure negli *shapefile*.

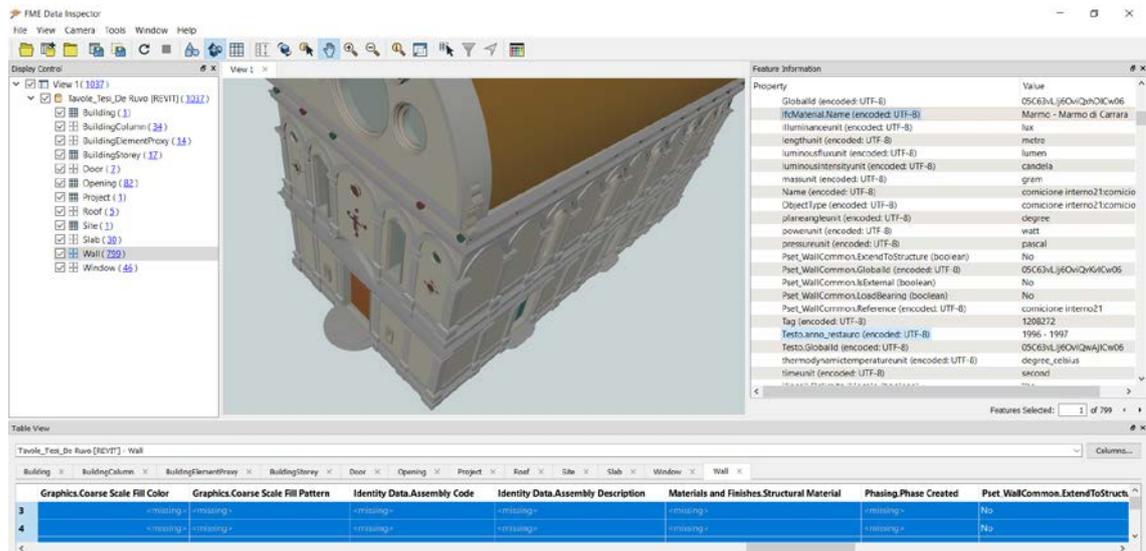


Figura 154 – Serie di attributi visibili solo nel pannello a destra, ma non in basso. Nello specifico si possono notare i due attributi evidenziati in azzurro (a destra), coincidenti con le due tipologie di dato inserite in Revit; schermata da FME Data Inspector.

Si tratta di una limitazione del *software* FME nei confronti dei dati Revit. L'unica procedura che consente di ovviare a tale inconveniente, è l'esposizione manuale degli attributi desiderati, utilizzando il trasformatore “*AttributeExposer*”. Indubbiamente è una procedura lenta, ma efficace.

Innanzitutto occorre copiare la lista di attributi visibile in FME Data Inspector e incollarla in Microsoft Excel; a ciascuna riga è associato un attributo.

A titolo esemplificativo, di seguito si riporta una schermata che illustra quanto effettuato [Fig. 155]; allo stesso modo si è proceduto per le altre *feature*, creando un *file* Excel per ognuna di esse.

	A
25	forceunit
26	frequencyunit
27	GlobalId
28	IfcMaterial.Name
29	illuminanceunit
30	lengthunit
31	luminousfluxunit
32	luminousintensityunit
33	massunit
34	multi_reader_full_id
35	multi_reader_id
36	multi_reader_keyword
37	multi_reader_type
38	Name
39	ObjectType
40	planeangleunit
41	powerunit
42	pressureunit
43	Pset_WallCommon.ExtendToStructure
44	Pset_WallCommon.GlobalId
45	Pset_WallCommon.IsExternal
46	Pset_WallCommon.LoadBearing
47	Pset_WallCommon.Reference
48	Tag
49	Testo.anno_restauo
50	Testo.GlobalId
51	thermodynamictemperatureunit
52	timeunit

Figura 155 – Esposizione manuale degli attributi di una *feature* mediante Microsoft Excel. Evidenziati in grigio i due attributi ritenuti maggiormente rilevanti per il presente studio di tesi.

Selezionando in FME Workbench il trasformatore “*AttributeExposer*”, è stato possibile importare gli attributi salvati nei *file* Excel, così come illustrato in figura 156.

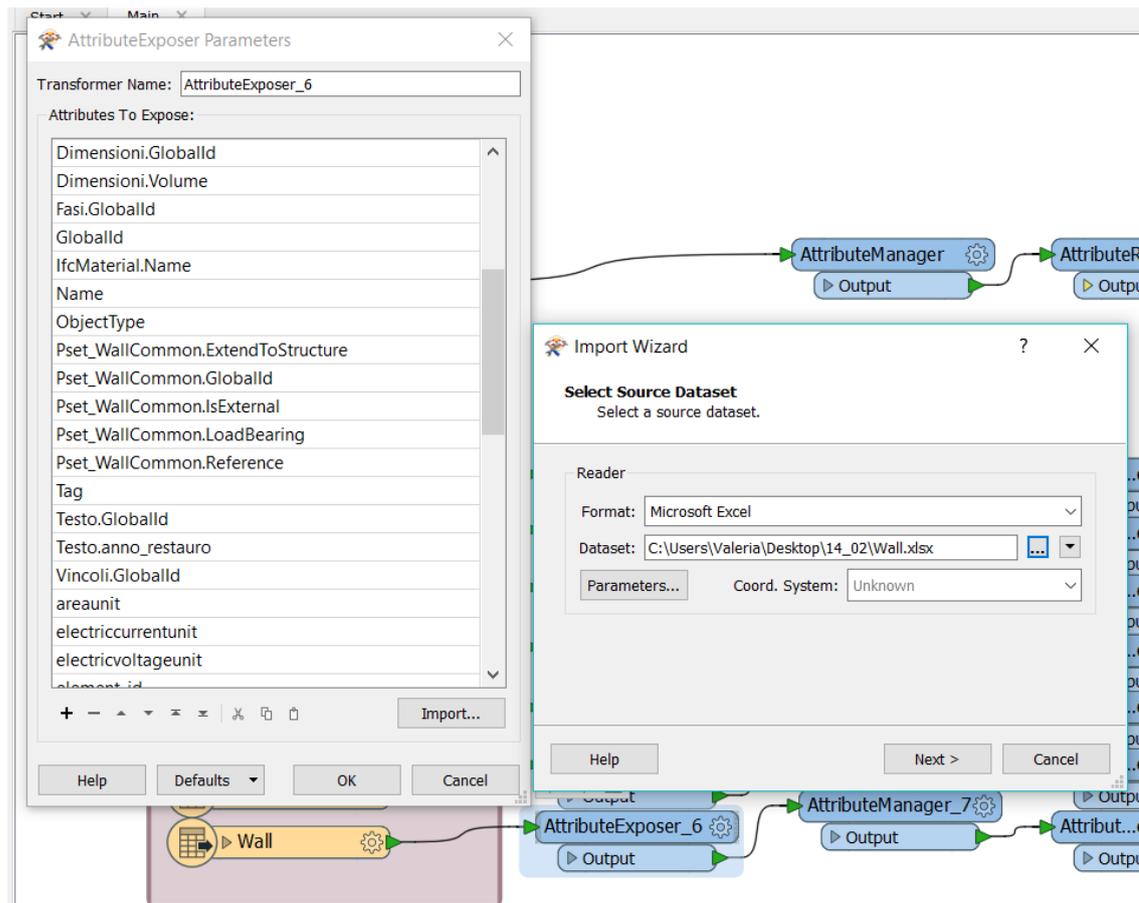


Figura 156 – Interfaccia del trasformatore “AttributeExposer”. Per importare gli attributi desiderati è stato necessario selezionare il file (Microsoft Excel) da cui estrarli; schermata da FME Workbench.

Successivamente sono stati utilizzati i trasformatori “AttributeManager” e “AttributeRemover”, così come è stato esplicitato per la *feature* priva di geometrie.

Cliccando sugli ingranaggi di ciascuna *feature* costituente i *file* di *output*, è stato possibile conoscere il tipo di geometria degli *shapefile*; nel caso di “Building” si è generato uno “*shape_null*”, per tutti gli altri degli “*shape_multipatch*” [Fig. 157].

Si vuole sottolineare che per questi ultimi non sono stati rinominati gli attributi, ma è stata scelta la compilazione automatica.

Affinché la conversione da un formato di dati a un altro vada a buon fine, una volta terminata la costruzione del flusso di lavoro, è stato necessario eseguire il *running* del *workspace*, selezionandone la tipologia.

In particolare è stata scelta l’opzione “Run With Feature Caching”, che consente di ispezionare mediante FME Data Inspector, i dati di qualsiasi operazione intermedia nel flusso di lavoro, semplicemente cliccando sull’icona della lente di ingrandimento [Fig.

158], selezionabile solo una volta ultimata la conversione, a patto che sia andata a buon fine [Fig. 159].

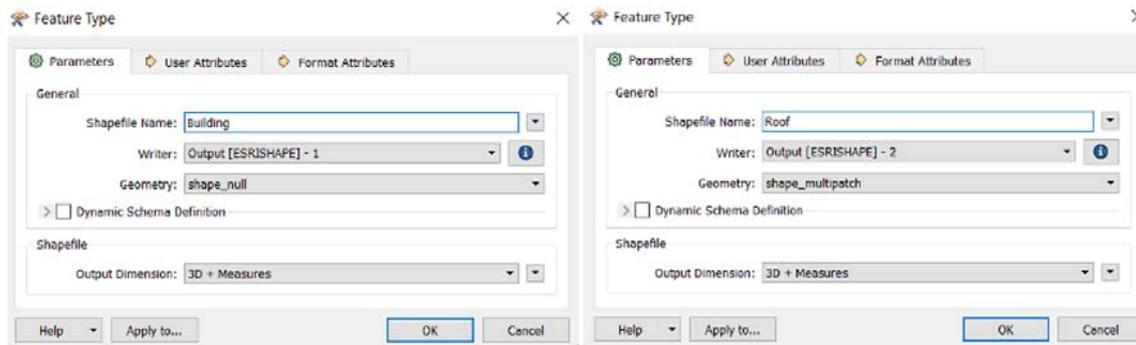


Figura 157 - Tipo di geometria per la feature “Building” (a sinistra); tipo di geometria per la feature “Roof” (a destra). Schermata da FME Workbench.

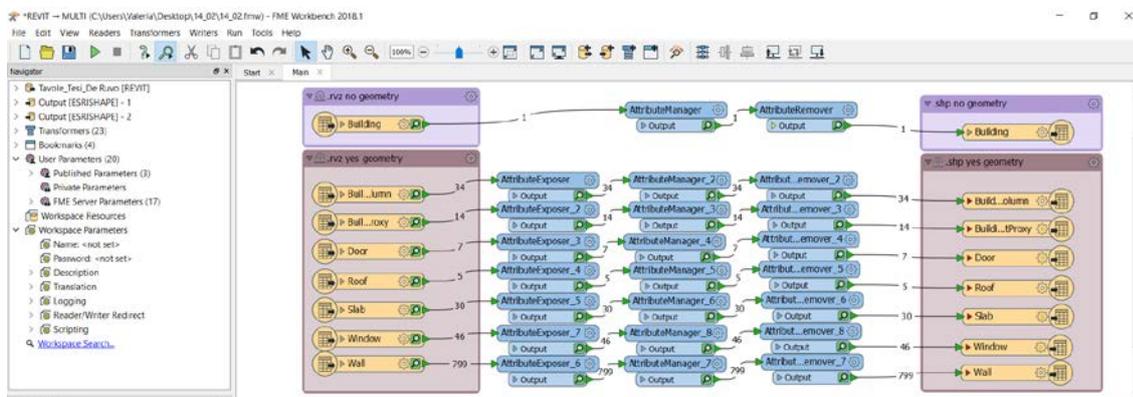


Figura 158 – Schermata da FME Workbench del primo workspace, in seguito alla conversione ultimata. Cliccando sulle lenti di ingrandimento si apre in automatico FME Data Inspector, che consente di ispezionare qualsiasi dato desiderato.

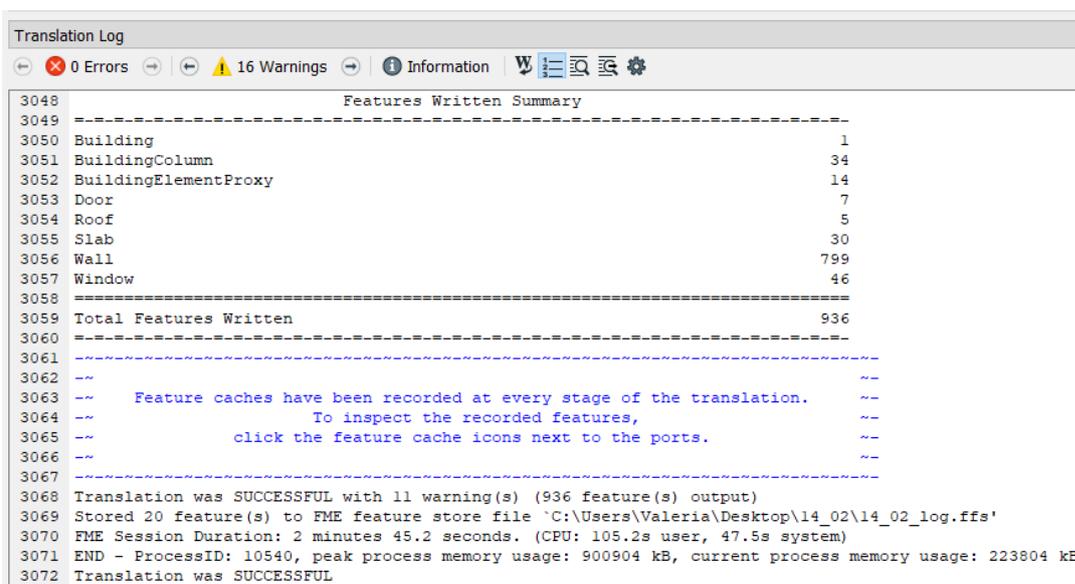


Figura 159 – Interfaccia della finestra relativa al processo di conversione. L’ultima riga specifica se essa è andata a buon fine; schermata da FME Workbench.

6.5.2 Verifica interoperabilità a seguito del primo *workspace*

Ispezionando i singoli *shapefile* ottenuti, è stata valutata l'interoperabilità tra il formato di dati BIM (*input*) e GIS (*output*).

Di seguito si vogliono riportare due schermate, rispettivamente da *software* FME Data Inspector e ArcScene, dello *shapefile* contenente l'informazione sulla **posizione geografica** [Figg. 160 e 161].

Com'è possibile constatare dalla figura 160, si tratta dello *shapefile* privo di geometrie, che ha correttamente conservato gli attributi che descrivono le coordinate geografiche della Chiesa.

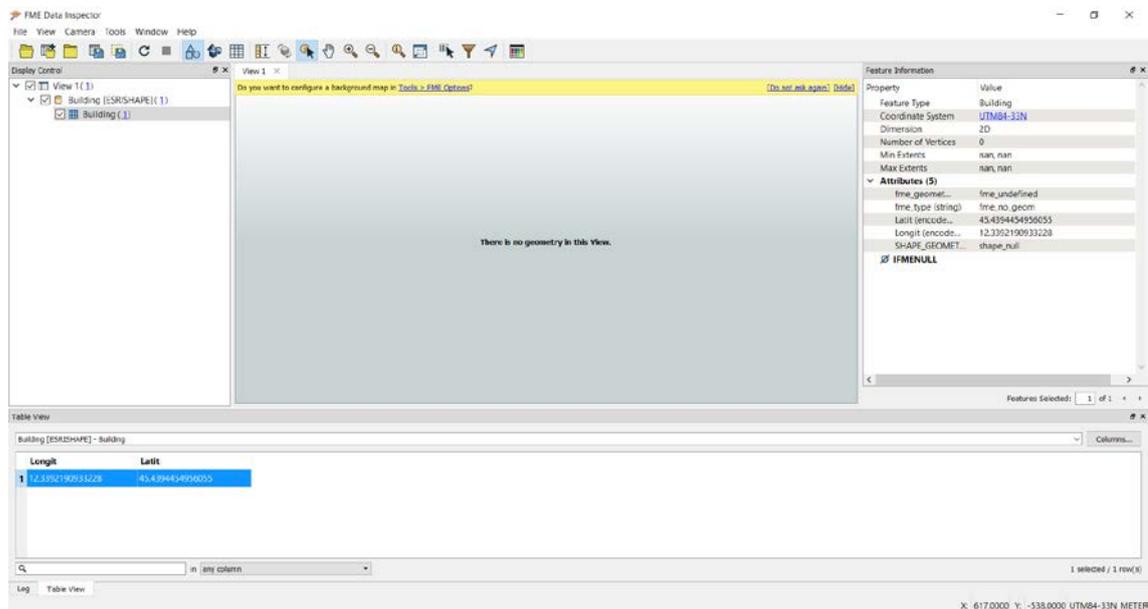


Figura 160 – Ispezione dello *shapefile* “Building”, contenente l'informazione sulla posizione geografica della Chiesa di Venezia. Schermata da FME Data Inspector.

Anche in ArcScene, continua a non essere rappresentata alcuna geometria [Fig. 161]; aprendo la tabella degli attributi, oltre ai due campi compilati come in figura 160, si generano in automatico il campo identificativo “FID” e quello che ne descrive la geometria, “*Shape*”, riconosciuta come un “Punto ZM” [Fig. 161].

La stessa operazione è stata effettuata per le *feature* contenenti geometrie, riconosciute in ArcScene come “*Multipatch M*”. Per queste, è stato valutato se le informazioni inerenti l'anno di restauro e quelle sul materiale associato ai componenti del modello Revit, siano state correttamente salvate anche dopo la conversione.

Per le prime (inserite come parametri di progetto) è stato sempre riscontrato un esito positivo; per le seconde, si sono rilevate talvolta delle problematiche.

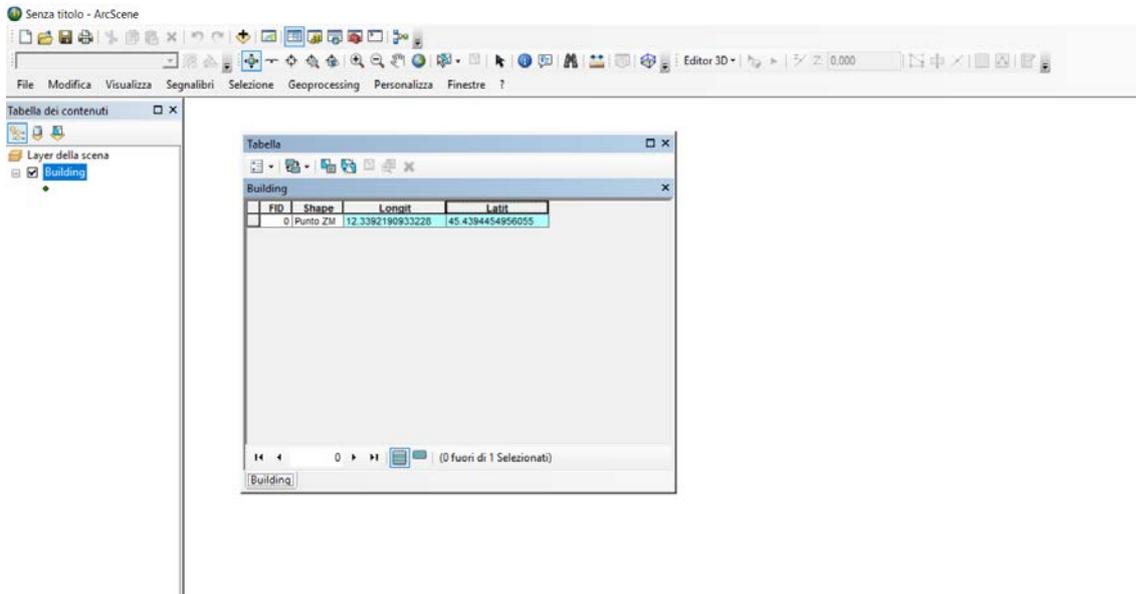


Figura 161 – Importazione dello shapefile “Building” all’interno del software ArcScene, al fine di valutare le informazioni conservate nella tabella degli attributi.

A titolo esemplificativo di seguito si vogliono riportare due schermate sulla *feature* “Window”, al fine di dimostrare la presenza delle informazioni desiderate (“IfcMateria” per i materiali e “Testo_anno” per l’anno di restauro) [Figg. 162 e 163].

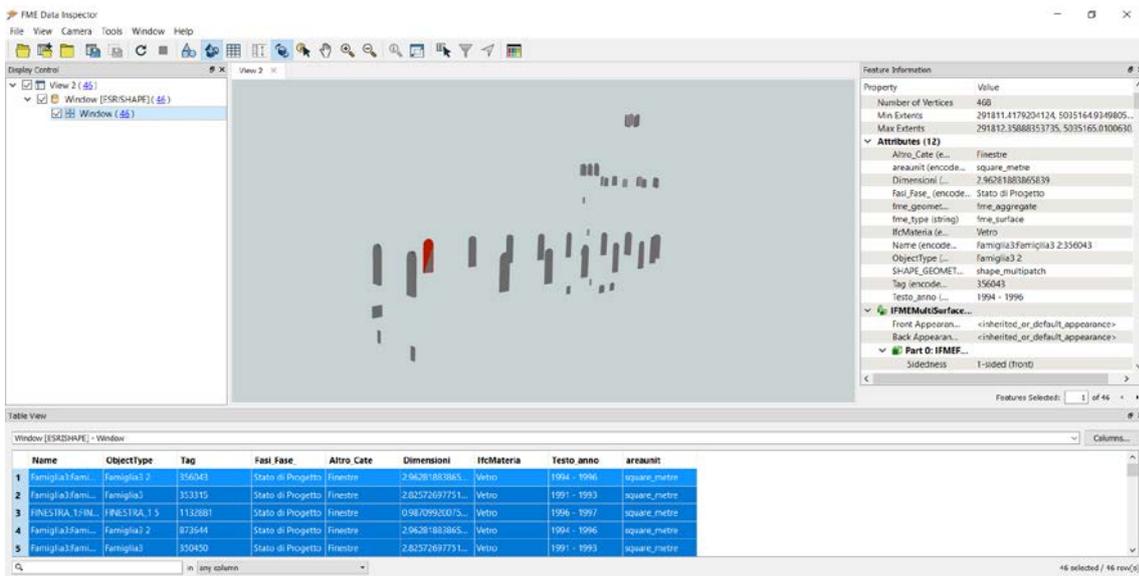


Figura 162 – Ispezione dello shapefile “Window”. I campi “IfcMateria” contenenti l’informazione sui materiali dei componenti e “Testo_anno” relativo all’anno di restauro, risultano correttamente compilati; schermata da FME Data Inspector.

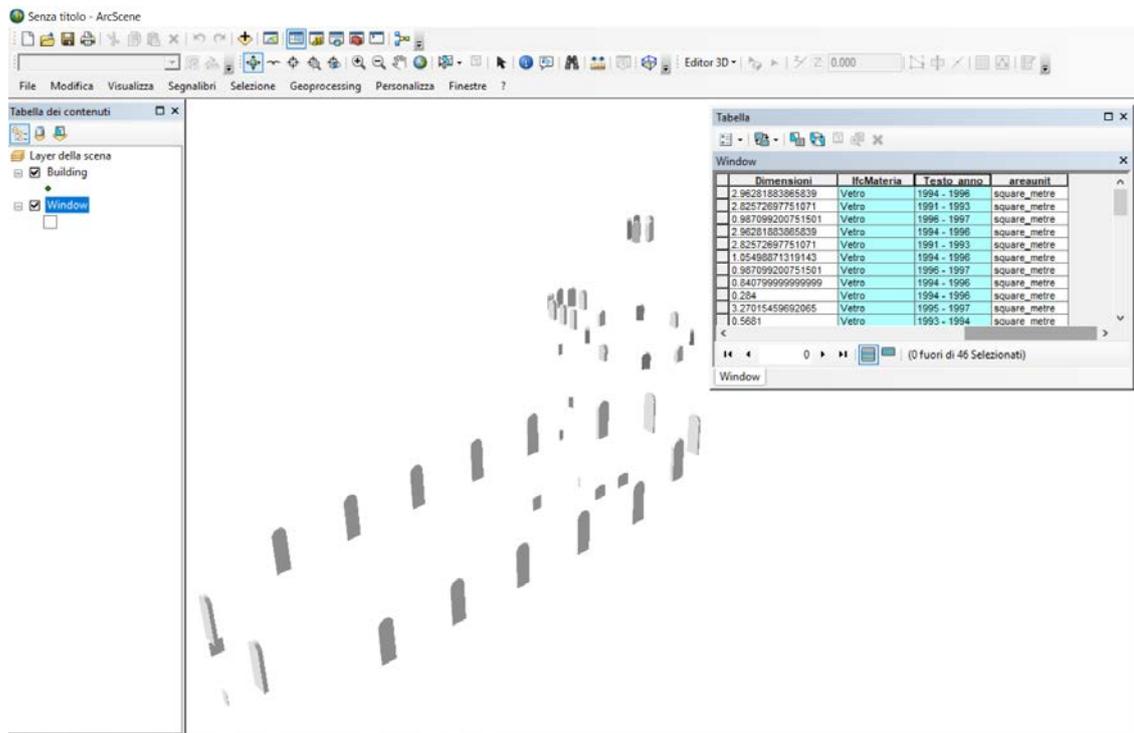


Figura 163 - Importazione dello shapefile "Window" all'interno del software ArcScene, al fine di valutare le informazioni conservate nella tabella degli attributi.

Si vuole inoltre sottolineare che a seguito della conversione dei dati in FME Workbench, in figura 158 è possibile visualizzare lungo le linee di collegamento anche il numero di elementi relativi a ciascuna *feature*. Lo stesso numero è leggibile all'interno delle rispettive tabelle degli attributi in ArcScene, come per esempio si può osservare nelle figure 161 e 163; ciò implica che anche il numero di geometrie è stato correttamente conservato.

Dalle figure 162 e 163 è invece possibile constatare l'assenza della colorazione associata alle geometrie delle finestre, ma presente nei dati Revit³⁶ [Fig. 147].

Importando in ArcScene anche gli altri *shapefile* creati, si ottiene quanto illustrato in figura 164.

Aperto le tabelle degli attributi di ciascuna *feature*, è stato possibile evidenziare le problematiche riscontrate per le informazioni sui **materiali**.

Nello specifico, per lo *shapefile* "Door", risulta inesistente il campo relativo ai materiali [Fig. 165]. Probabilmente ciò è giustificato dal fatto che nel *software* Revit, per le famiglie corrispondenti, è stato necessario definire più materiali per la stessa porta.

³⁶ Si ricorda che nel caso del LoD3, ciascun *layer* era stato colorato manualmente nel *software* ArcScene.

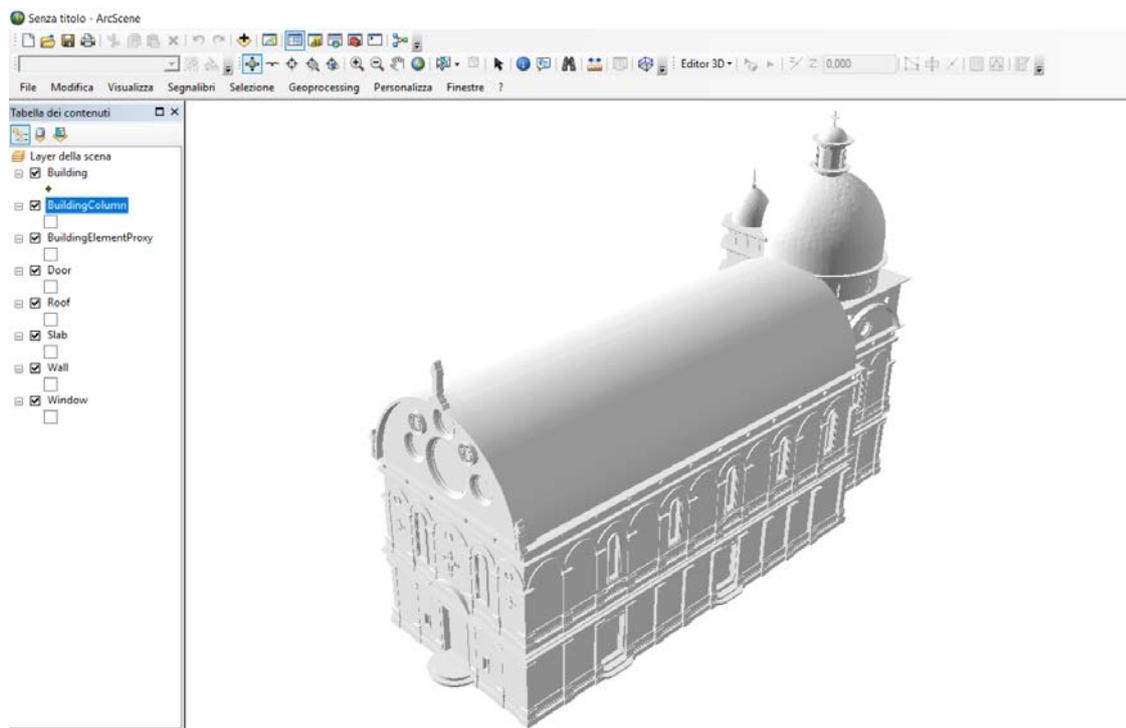


Figura 164 – Schermata da ArcScene degli shapefile creati mediante FME Workbench.

rid	Shape	Name	ObjectType	Tag	Fasi Fase	Altro Cate	Dimensioni	Testo anno	areaunit
0	MultiPatch M	Portale - Decorato SECONDARIA LATO SUD:700390	SECONDARIA LATO SUD	700390	Stato di Progetto	Porte	6.52421972465553	1865	square_metre
1	MultiPatch M	porta chiesa venezia:80 x 210 cm:928139	80 x 210 cm	928139	Stato di Progetto	Porte	5.70418155974758	1871	square_metre
2	MultiPatch M	porta chiesa venezia:80 x 210 cm:929363	80 x 210 cm	929363	Stato di Progetto	Porte	3.46993155974894		square_metre
3	MultiPatch M	portone ingresso venezia:200 x 300 cm:998245	200 x 300 cm	998245	Stato di Progetto	Porte	8.8731567828941	1997	square_metre
4	MultiPatch M	porta chiesa venezia:80 x 210 cm:925429	80 x 210 cm	925429	Stato di Progetto	Porte	6.20068155974759		square_metre
5	MultiPatch M	Portale - Decorato SECONDARIA LATO SUD:693474	SECONDARIA LATO SUD	693474	Stato di Progetto	Porte	6.52421972465553	1865	square_metre
6	MultiPatch M	porta chiesa a venezia:80 x 210 cm:948614	80 x 210 cm	948614	Stato di Progetto	Porte	3.46993155974894		square_metre

Figura 165 – Tabella degli attributi dello shapefile “Door”. Non è presente il campo relativo ai materiali; schermata da ArcScene.

Nel caso dei tetti, due elementi risultano non avere compilata l’informazione sul materiale [Fig. 166]. Entrambi sono riferiti alla famiglia duplicata su Revit “Tetto di base: Travetti”, cui corrispondono le prime tre righe di figura 166. Dal campo “Tag”, relativo all’ID associato ai singoli elementi in Revit, si nota che i due con l’informazione mancante, hanno come identificativo un numero maggiore rispetto a quello della terza riga; dunque, probabilmente, ciò implica che tali elementi siano stati creati come copia di quello con tag “246553”, e l’informazione relativa al materiale, sia stata associata solamente all’elemento primario creato per la famiglia citata.

In Revit, così come per le porte, anche per i tetti sono stati definiti più materiali; quelli indicati nella tabella degli attributi [Fig. 166], sono relativi alla parte strutturale.

FID	Shape	Name	ObjectType	Tag	Fasi Fase	Altro Cate	Dimensioni	IfcMateria	Testo anno	areaunit
0	MultiPatch M	Tetto di base Travetti 265872	Tetto di base Travetti 240734	265872	Stato di Progetto	Tetti	31.5326544380366		1871, 1996 - 1997	square metre
1	MultiPatch M	Tetto di base Travetti 328997	Tetto di base Travetti	328997	Stato di Progetto	Tetti	6.01613913630642		1871, 1996 - 1997	square metre
2	MultiPatch M	Tetto di base Travetti 246553	Tetto di base Travetti 240734	246553	Stato di Progetto	Tetti	459.483687369818	Legno tetto	1855, 1970, 1996 - 1997	square metre
3	MultiPatch M	Cupoletta Cupoletta 327062	Cupoletta Cupoletta 327060	327062	Stato di Progetto	Tetti	14.8834366656651	Legno tetto	1871, 1996 - 1997	square metre
4	MultiPatch M	Tetti 1.Tetti 1.744549	Tetti 1.Tetti 1.744547	744549	Stato di Progetto	Tetti	67.8810252781726	Legno tetto interno	1956	square metre

Figura 166 – Tabella degli attributi dello shapefile “Roof”. Non risultano compilate le prime due righe; schermata da ArcScene.

Per lo shapefile “Slab”, non è chiaro il motivo per cui siano presenti due campi relativi alla stessa informazione, nonché “Materiali_” e “IfcMateria”. Come è possibile constatare da figura 167, risultano entrambi correttamente compilati.

FID	Shape	Name	ObjectType	Tag	Fasi Fase	Materiali	Altro Cate	Dimensioni	IfcMateria	Testo anno	areaunit
12	MultiPatch M	Pavimento Pietra 17cm 207051	Pavimento Pietra 17cm	207051	Stato di Progetto	Marmo - Pietra d'Istria	Pavimenti	3.48973726471583		1996 - 1997	square metre
13	MultiPatch M	Pavimento INGRESSO 907004	Pavimento INGRESSO	907004	Stato di Progetto	Marmo - Pietra d'Istria	Pavimenti	1.75121665730201		1991 - 1993	square metre
14	MultiPatch M	Pavimento INGRESSO 373635	Pavimento INGRESSO	373635	Stato di Progetto	Marmo - Pietra d'Istria	Pavimenti	2.88947306941693		1867 - 1868, 1993 - 1994	square metre
15	MultiPatch M	Pavimento INGRESSO 908125	Pavimento INGRESSO	908125	Stato di Progetto	Marmo - Pietra d'Istria	Pavimenti	0.767789683161319		1991 - 1993	square metre
16	MultiPatch M	Pavimento Pietra 17cm Marmo	Pavimento Pietra 17cm Mar	1012837	Stato di Progetto	Marmo - Marmo di Carrara	Pavimenti	46.0575429997805		1996 - 1997	square metre
17	MultiPatch M	Pavimento Pietra 17cm 304085	Pavimento Pietra 17cm	304085	Stato di Progetto	Marmo - Pietra d'Istria	Pavimenti	1.0737293220026		1996 - 1997	square metre
18	MultiPatch M	Pavimento Pietra 17cm 305958	Pavimento Pietra 17cm	305958	Stato di Progetto	Marmo - Pietra d'Istria	Pavimenti	0.969897199912333		1996 - 1997	square metre
19	MultiPatch M	Pavimento Pietra 30cm Marmo	Pavimento Pietra 30cm Mar	306887	Stato di Progetto	Marmo - Marmo di Carrara	Pavimenti	43.9757801683699		1996 - 1997	square metre
20	MultiPatch M	Pavimenti 1 Pavimenti 1.791129	Pavimenti 1 Pavimenti 1	791129	Stato di Progetto		Pavimenti	201.823994021857	Marmo - Marmo di Carrara	1996 - 1997	square metre

Figura 167 – Tabella degli attributi dello shapefile “Slab”. Compiono due campi relativi alla stessa informazione; schermata da ArcScene.

Nel caso dei muri, si è presentato lo stesso problema riscontrato per la famiglia dei tetti. Pertanto, elementi appartenenti alla stessa famiglia, risultano privi dell’informazione sul materiale, fatta eccezione di quello avente ID più piccolo e dunque realizzato per primo. A titolo esemplificativo, in figura 168 sono stati evidenziati due elementi appartenenti alla stessa famiglia; quello con il tag più piccolo ha l’informazione del materiale inserita correttamente, mentre l’altro la perde.

Object Type	Tag	Fasi Fase	Altro Cate	Dimensioni	IfcMateria	Testo anno	areaunit
Muro di base Generico - 10 171157	973903	Stato di Progetto	Mun	0.06999999999999962		1996 - 1997	square metre
Muri 310 Mun 240.809540	809542	Stato di Progetto	Mun	1.06544605666709	Marmo - Pietra d'Istria	1994 - 1996	square metre
Muro di base Generico - 10 171157	990718	Stato di Progetto	Muri	0.06999999999999962		1996 - 1997	square metre
comicione interno5 comicione interno1.892953	892955	Stato di Progetto	Muri	15.6391931730114	Marmo - Bardiglio	1883 - 1887, 1993 - 1997	square metre
base lesene sud69 base lesene sud 1106904	1106906	Stato di Progetto	Mun	0.67728156527371	Marmo - Pietra d'Istria	1993 - 1994	square metre
BASAMENTO35 BASAMENTO 1095347	1095349	Stato di Progetto	Mun	1.70769831980743	Marmo - Pietra d'Istria	1865 - 1867, 1991 - 1993	square metre
balaustra35 balaustra 991427	991429	Stato di Progetto	Mun	0.0873982195995591	Marmo - Pietra d'Istria	1996 - 1997	square metre
Muro di base Generico - 77 decoro rosso 1282068	257223	Stato di Progetto	Mun	0.111242682655046	Marmo - Porfido Rosso Antico	1993 - 1994	square metre
Mun 241 Mun 240.657585	657587	Stato di Progetto	Mun	1.06539249672907	Marmo - Pietra d'Istria	1994 - 1996	square metre
attorno comicione intorno 18 attorno comicione intorno 1.869995	869997	Stato di Progetto	Muri	0.192225819938853	Marmo - Bardiglio	1883 - 1887, 1993 - 1997	square metre
base lesene sud60 base lesene sud 1105028	1105030	Stato di Progetto	Muri	0.629831389417723	Marmo - Pietra d'Istria	1994 - 1996	square metre
COLONNE ESTERNE12 COLONNE ESTERNE 1075959	1075961	Stato di Progetto	Muri	0.432768306991248	Marmo - Pietra d'Istria	1865 - 1867, 1991 - 1993	square metre
Muro di base dettagli circolari verdi 1279016	1162423	Stato di Progetto	Muri	0.0615669832171357		1994 - 1996	square metre
BASAMENTO6 BASAMENTO 1074888	1074890	Stato di Progetto	Mun	1.7385465533338	Marmo - Pietra d'Istria	1991 - 1993	square metre
Muro di base Generico - 75 129703	1218347	Stato di Progetto	Muri	1.13100192822794		1867 - 1868, 1993 - 1997	square metre
comicione facciata13 comicione facciata 1217608	1217610	Stato di Progetto	Muri	0.0215776731080418	Marmo - Pietra d'Istria	1993 - 1994	square metre
Muro di base Generico - 77 decoro rosso 1282068	1218237	Stato di Progetto	Muri	0.0141737127723771		1993 - 1994	square metre
comicione13 comicione 1006767	1006769	Stato di Progetto	Mun	1.70620590907045	Marmo - Marmo di Carrara	1867 - 1868, 1993 - 1994	square metre
Mun 240 Mun 311.840426	840428	Stato di Progetto	Mun	17.1894532641945	Marmo - Porfido Rosso Antico	1883 - 1887, 1969	square metre
comiconi comiconi 1009477	1009479	Stato di Progetto	Muri	0.393674563718695	Default - Calcestruzzo	1867 - 1868, 1993 - 1994	square metre
BASE LESENIA4 BASE LESENIA 792503	792505	Stato di Progetto	Mun	0.278991217102899	Marmo - Pietra d'Istria	1867 - 1868, 1993 - 1994	square metre
Muro di base 0 0717 muro 859659	869793	Stato di Progetto	Muri	0.0533047559862728		1883 - 1887, 1993 - 1997	square metre
COLONNE ESTERNE57 COLONNE ESTERNE 1106650	1106652	Stato di Progetto	Muri	0.43276830699118	Marmo - Pietra d'Istria	1993 - 1994	square metre
Muro di base 0 05 969240	972812	Stato di Progetto	Muri	0.363191075254387		1996 - 1997	square metre

Figura 168 – Tabella degli attributi dello shapefile “Wall”. In evidenza due elementi appartenenti alla stessa famiglia ma aventi due tag differenti; quello con il tag più piccolo contiene l’informazione sul materiale.

Per i materiali, si vuole inoltre sottolineare che le informazioni inserite manualmente nella finestra “Identità” e “Grafica”, come appare in figura 127, risultano perse.

6.5.3 Costruzione del secondo workspace

Nel secondo workspace, l’obiettivo è stato quello di creare un unico shapefile, che contenesse gli attributi correttamente compilati delle otto feature ottenute dalla prima conversione di dati. Pertanto come “Reader” sono state selezionate queste ultime, mentre come “Writer” si è scelto nuovamente il formato di dati ESRI Shapefile, con lo stesso sistema di riferimento, rinominandolo manualmente “SMM_LOD4_”. Anche in questo caso è stata scelta come geometria il multipatch.

A differenza del primo flusso di lavoro, non sono stati utilizzati trasformatori e si è proceduto direttamente con il running. Per la compilazione degli attributi si è scelto la modalità automatica.

Di seguito si riportano due schermate, una raffigurante il secondo workspace realizzato mediante FME Workbench, l’altra il risultato ottenuto ispezionando il tutto con FME Data Inspector [Figg. 169 e 170].

Nel Display Control [Fig. 170] il numero di elementi totale è 936, pertanto non è stata persa alcuna geometria durante la conversione; nella Table View [Fig. 170] sono elencati tutti gli attributi, opportunamente compilati. La prima riga corrisponde alla

feature “Building”, contenente solo l’informazione sulla posizione geografica [Fig. 170]. Per distinguere le altre tipologie di geometrie, occorre invece considerare il campo “Altro_Cate”, che esplicita la famiglia di appartenenza di ciascun elemento [Fig. 170].

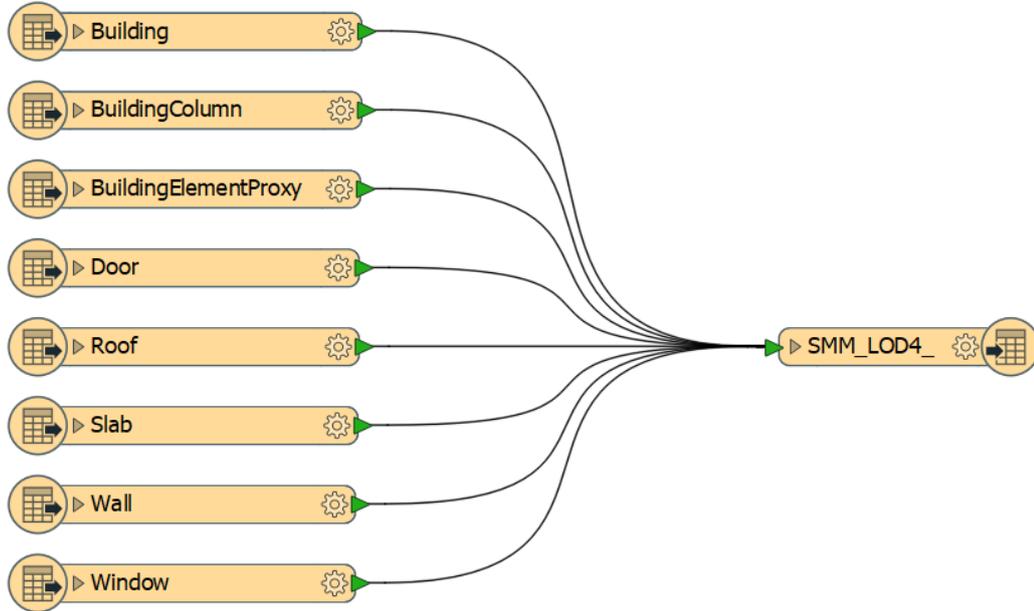


Figura 169 - Schermata da FME Workbench del secondo workspace costruito.

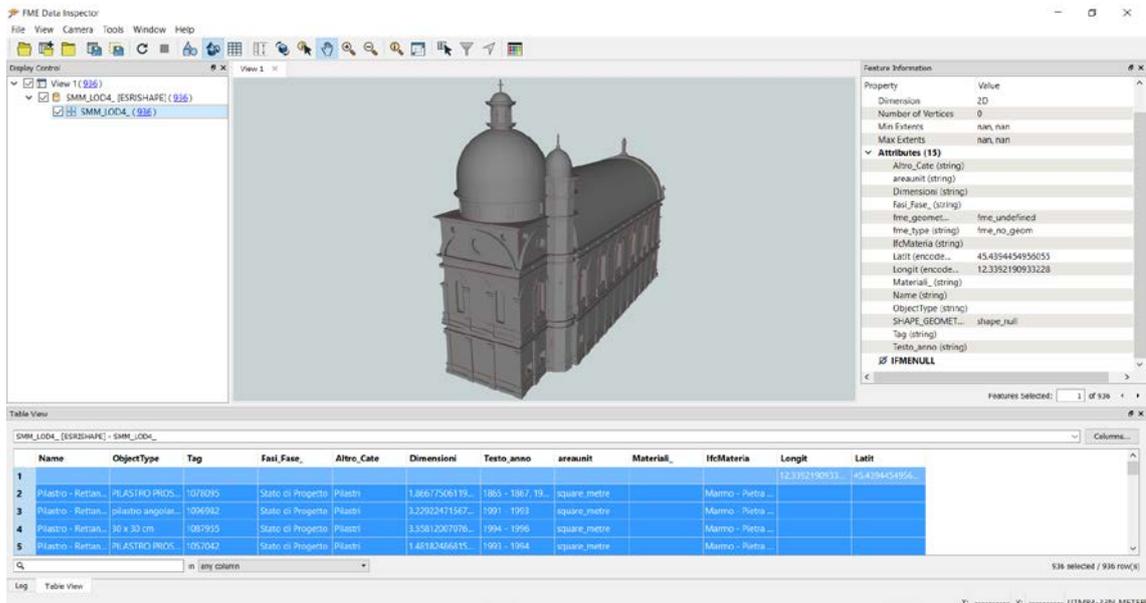


Figura 170 – Ispezione dello shapefile “SMM_LOD4_”. Schermata da FME Data Inspector.

6.5.4 Georeferenziazione

Lo *shapefile* risultante è stato importato in **ArcMap** e **ArcScene** per procedere con la **georeferenziazione**, sulla base del LoD3 precedentemente georeferenziato [vedasi paragrafo 6.4].

In figura 171 è possibile constatare la posizione occupata dal LoD4 prima dell'operazione di georeferenziazione. La scala del modello risulta la stessa del LoD3; ciò implica che al momento della definizione della posizione geografica in Revit, il *software* ha riconosciuto in automatico le dimensioni da associare agli elementi. Per quanto riguarda l'assetto spaziale, probabilmente l'assegnazione automatica delle coordinate geografiche mediante mappa Bing è soggetta a qualche errore; ecco il motivo per cui LoD3 e LoD4 non sono sovrapposti [Fig. 171].

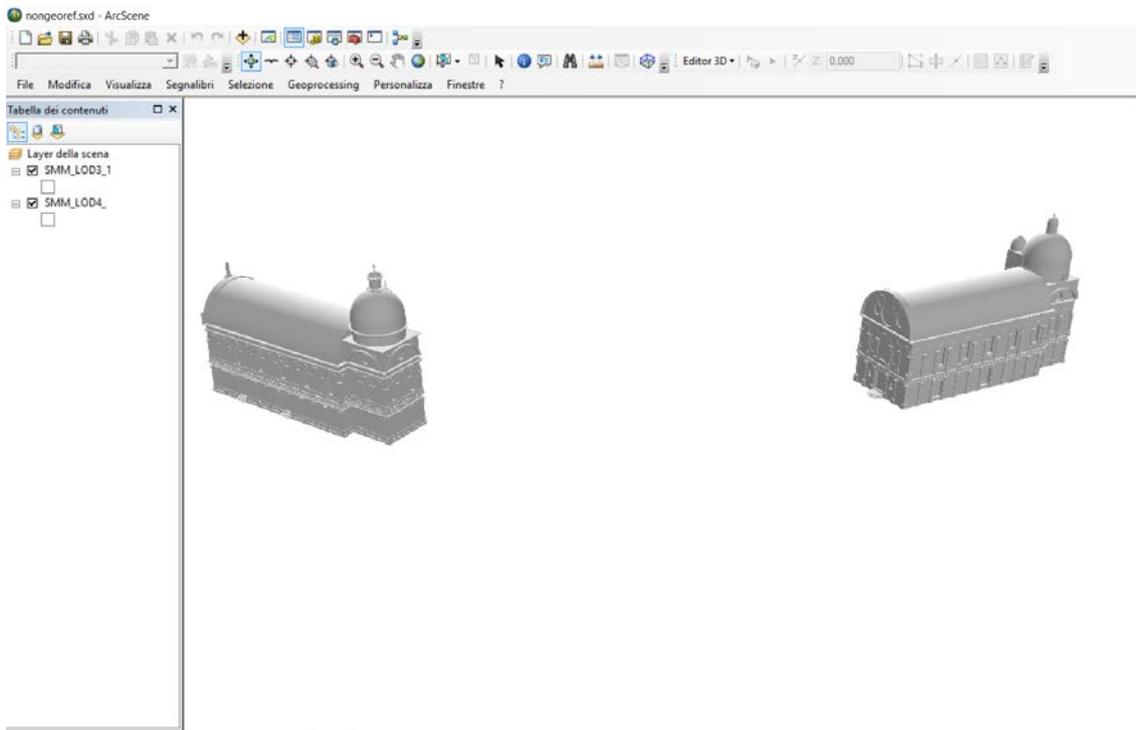


Figura 171 – Schermata da ArcScene del LoD3 e del LoD4 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli. Il LoD3 (a destra) è stato precedentemente georeferenziato, mentre il LoD4 (a sinistra) presenta un diverso assetto spaziale a seguito della conversione dei dati in FME Workbench.

Così come per il LoD3, sono state dunque ripetute le stesse procedure, al fine di definire la posizione geografica corretta del LoD4. Dopo aver effettuato le dovute modifiche,

sono stati selezionati tutti gli elementi costituenti il LoD4 e si è esportato il tutto in un nuovo *shapefile*, rinominandolo “SMM_LOD4_1”, che costituirà il “*Reader*” nel terzo *workspace* [Fig. 173].

Il risultato ottenuto è visibile in figura 172; in rosa è stato indicato il LoD3, mentre in bianco il LoD4.

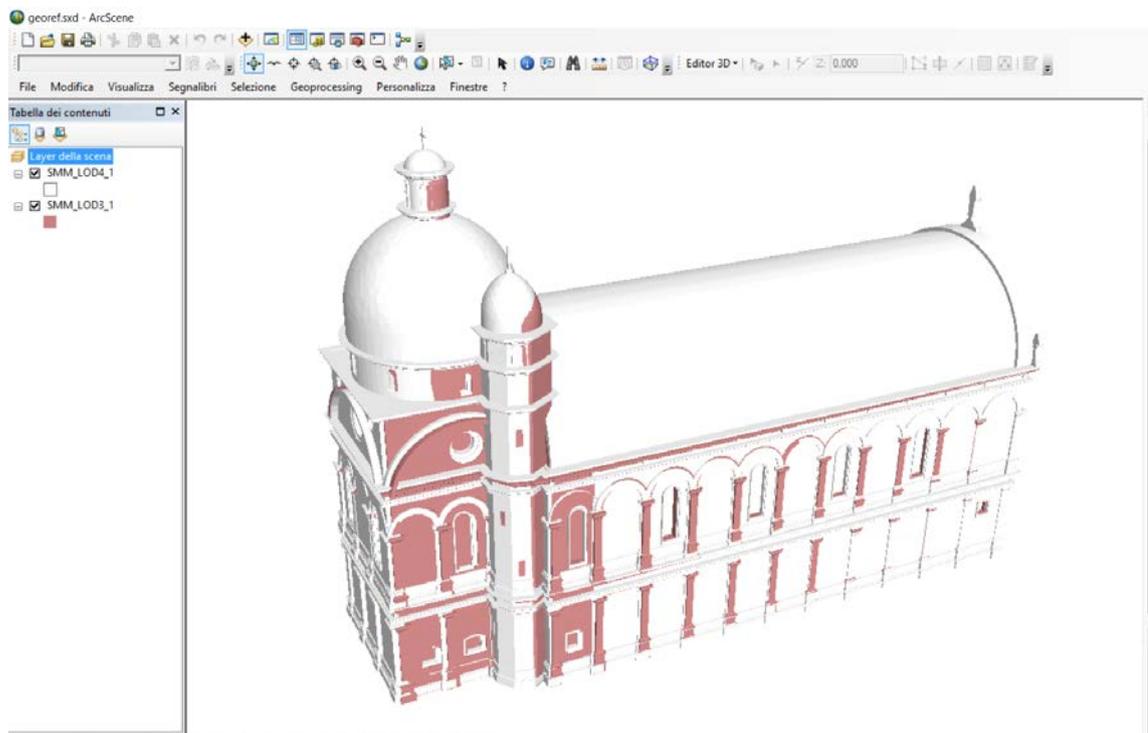


Figura 172 – Georeferenziazione del LoD4 (di colore bianco) sulla base del LoD3 (di colore rosa).
Schermata da ArcScene.

6.5.5 Costruzione del terzo *workspace*

In FME Workbench, per la creazione del terzo *workspace*, si è selezionato come “*Writer*” il formato di dati “**PostGIS**” [Fig. 174]. È stato dunque necessario aggiungere la connessione al *database*, nonché all’EID, impostando una serie di parametri, come per esempio nome, indirizzo IP e porta [Fig. 174].

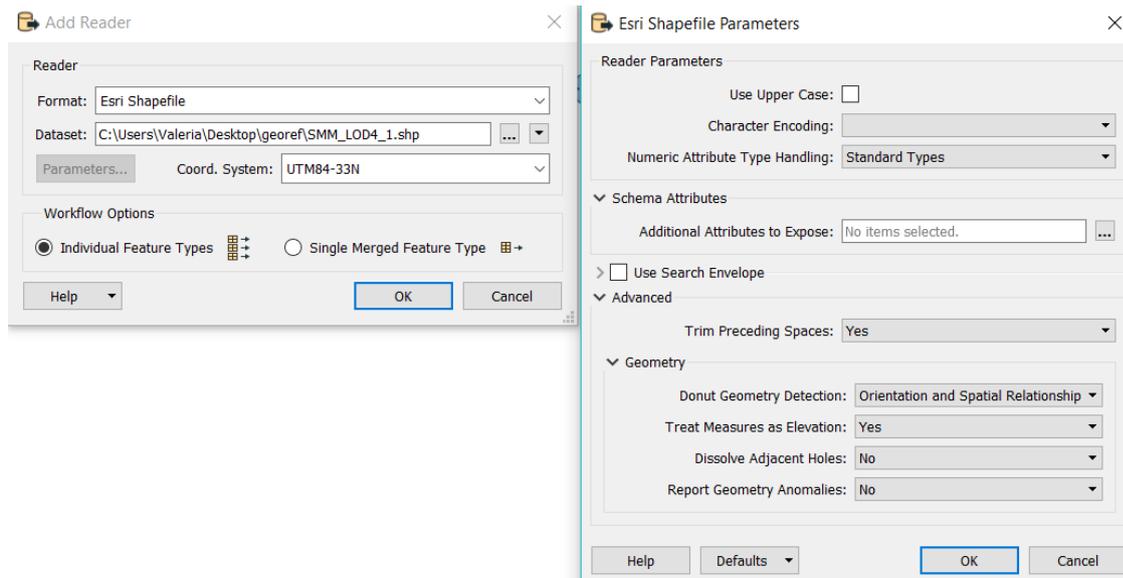


Figura 173 – Impostazione dei parametri per lo shapefile “SMM_LOD4_1”, costituente il “Reader” del terzo workspace. Schermata da FME Workbench.

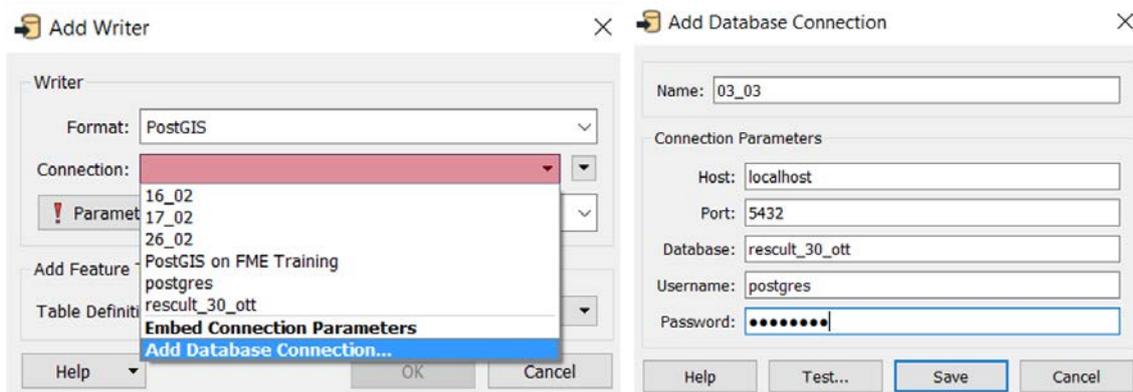


Figura 174 – Impostazione del formato di dati previsto per il “Writer” del terzo workspace. Trattandosi di un database, è stato necessario aggiungere la connessione e impostare una serie di parametri. Schermata da FME Workbench.

Dopo aver testato la connessione al *database* e salvato le impostazioni, sono stati definiti i parametri del “Writer”, così come appare in figura 175.

A questo punto si apre la finestra “Feature Type”, in cui è stato definito il nome della tabella da inserire nell'EID (“SMM_LOD4_1”), lo schema in cui salvarla (“rescult”), più una serie di altri dati [Fig. 176]. Per la compilazione degli attributi è stata scelta la modalità manuale.

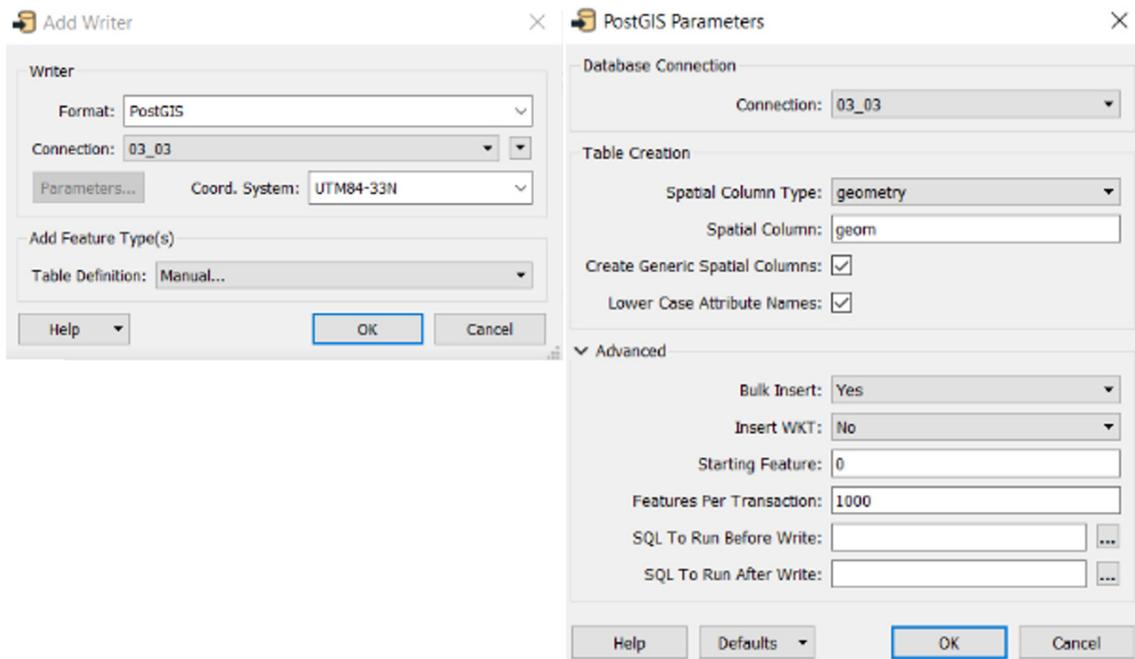


Figura 175 – Impostazione dei parametri del “Writer”. Schermata da FME Workbench.

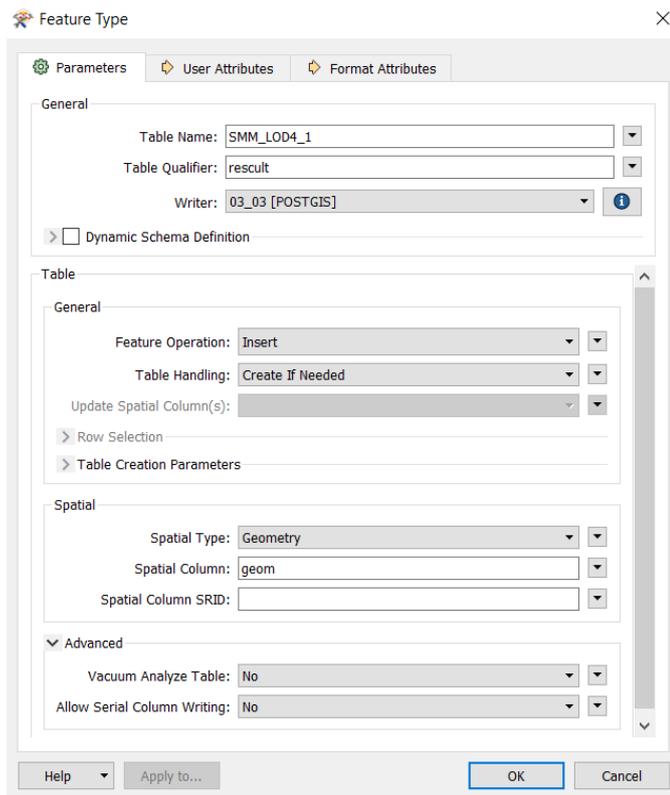


Figura 176 – Impostazione dei parametri della feature costituente la tabella da creare nell'EID. Schermata da FME Workbench.

Per completare il flusso di lavoro, sono stati utilizzati due trasformatori, entrambi in grado di agire sulle geometrie. Nello specifico si tratta di “*GeometryFilter*” e di “*GeometryCoercer*”.

Con il primo, selezionando tutte le geometrie [Fig. 177], è stato possibile sia conoscerne le tipologie coinvolte nello *shapefile* “SMM_LOD4_1”, sia copiare in maniera completa e inalterata gli attributi corrispondenti.

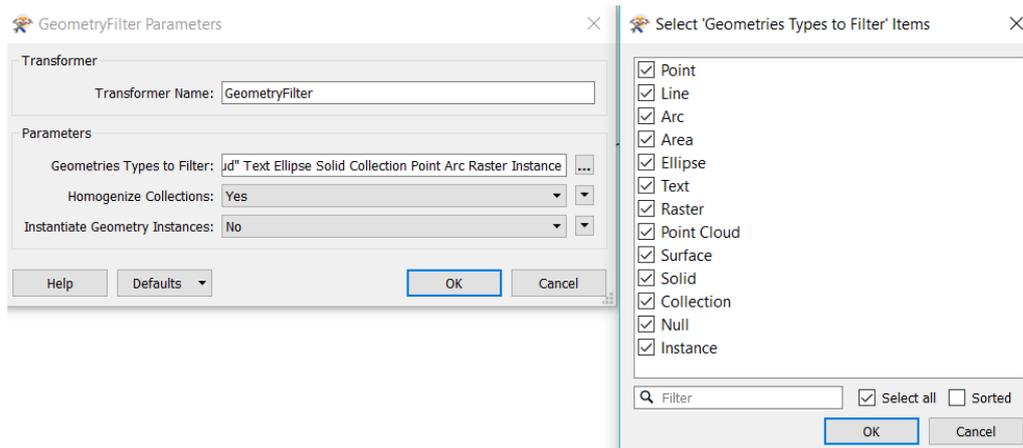


Figura 177 – Interfaccia del trasformatore “*GeometryFilter*”. Selezione delle feature da considerare nella conversione da un formato di dati a un altro. Schermata da FME Workbench.

Invece con il secondo, è stato possibile modificare la tipologia di geometria. Nel caso in esame si è scelto di convertire tutte le geometrie in “*fme_composite_surface*” [Fig. 178], l’unica che è risultata rispondere correttamente alle finalità desiderate.

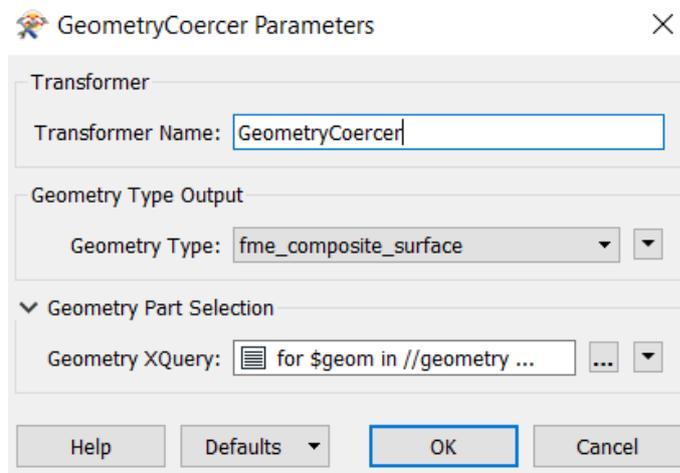


Figura 178 – Interfaccia del trasformatore “*GeometryCoercer*”. Si è chiesto a tutte le geometrie di essere convertite in “*fme_composite_surface*”; schermata da FME Workbench.

Di seguito si riporta una schermata del flusso di lavoro, dopo aver eseguito la conversione [Fig. 179].

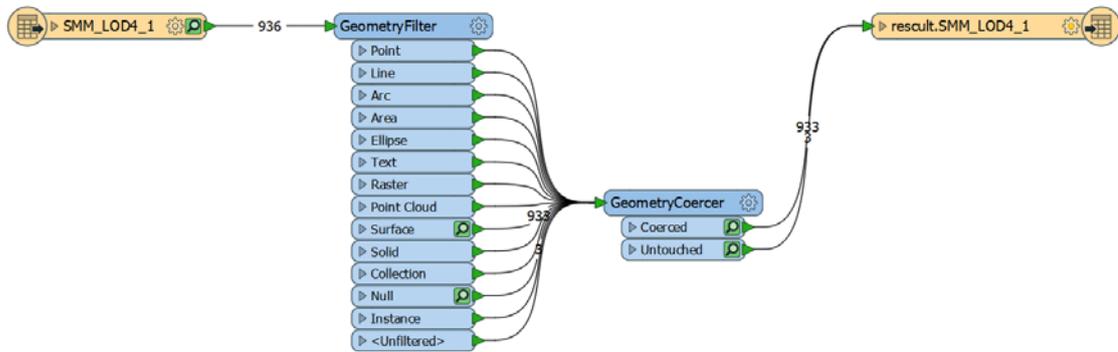


Figura 179 – Schermata da FME Workbench del terzo workspace costruito. In seguito alla conversione, tre geometrie non sono state convertite nella tipologia richiesta.

Come si evince dalla figura soprastante, delle 936 geometrie, tre non sono state convertite nella tipologia richiesta. Andando a ispezionarle in FME Data Inspector [Fig. 180], è possibile constatare che si tratta della *feature* contenente l’informazione sulla posizione geografica, nonché quella che nel primo *workspace* costituiva lo *shapefile* “*Building*”, privo di geometria; gli altri due elementi sono i tetti che in figura 166 risultavano privi dell’informazione sul materiale e che in figura 179 costituiscono geometrie riconosciute come “Null”.

Questo è il motivo per cui in figura 180 non risultano presenti geometrie.

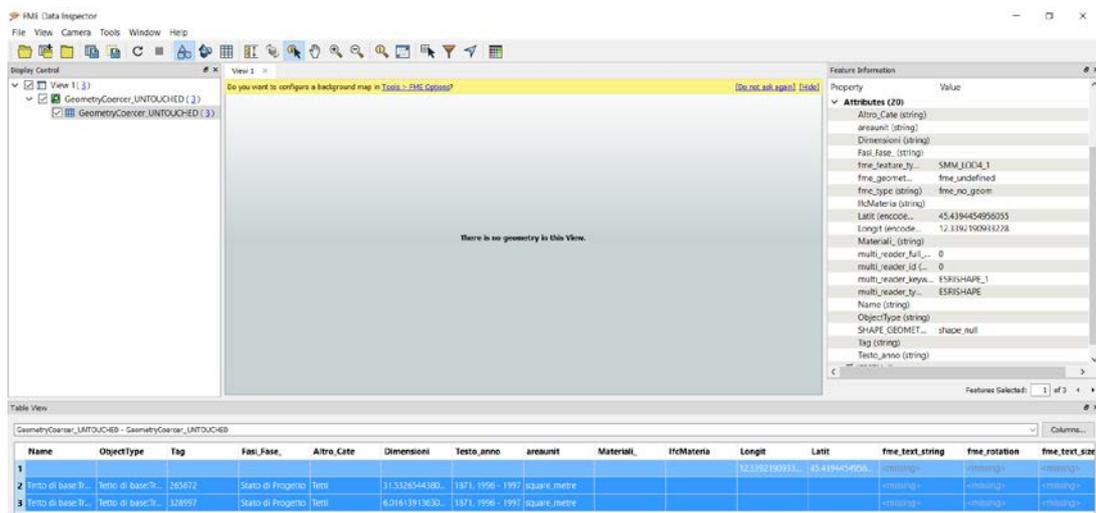


Figura 180 – Ispezione delle geometrie che a seguito della conversione in “*fme_composite_surface*” non hanno subito alcuna modifica. Schermata da FME Data Inspector.

La conversione è stata rieseguita senza collegare al “Writer” le geometrie “Untouched”. In questo modo, ispezionando il *file* di *output* in FME Data Inspector, si è ottenuto quanto illustrato in figura 181. È stata dunque persa l’informazione sulle coordinate geografiche.

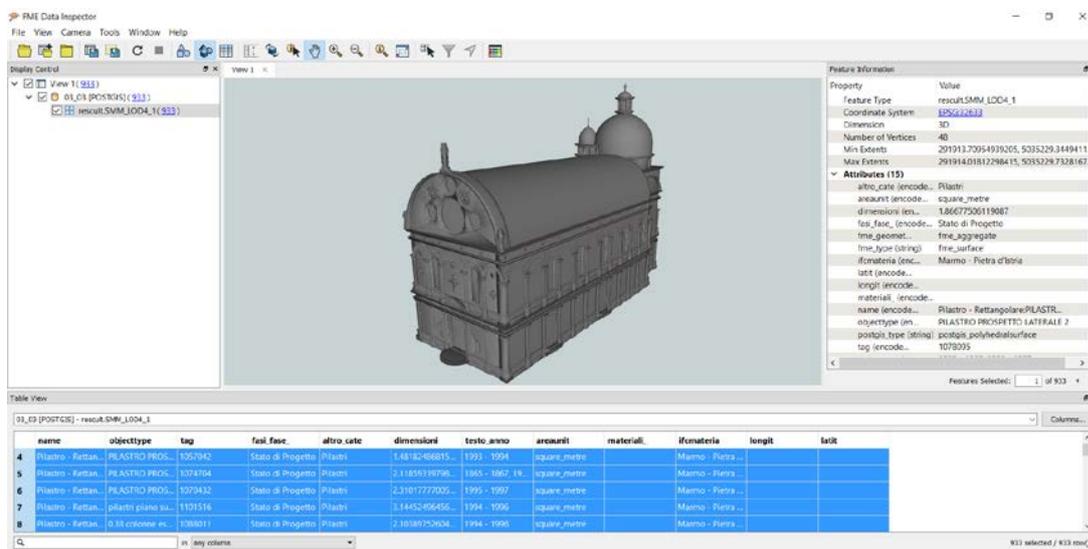


Figura 181 – Ispezione del file di output dell’ultimo workspace. Le geometrie e gli attributi in figura, risultano salvati direttamente nella tabella “SMM_LOD4_1” che si è generata all’interno dell’EID; schermata da FME Data Inspector.

6.5.6 L’inserimento nell’EID

La conversione effettuata nell’ultimo workspace, ha consentito la creazione, all’interno dello schema “rescult” dell’EID, di una nuova tabella “SMM_LOD4_1” [Fig. 182], contenente le geometrie e gli attributi, alcuni dei quali visualizzabili in figura 181.

Visualizzandone i dati mediante l’interfaccia grafica PgAdmin, si può notare che oltre alle dodici colonne [Fig. 181], se ne genera in automatico una ulteriore, “geom”, che descrive la tipologia di geometria di ciascun elemento [Fig. 183]; tuttavia, tali geometrie sono espresse nel linguaggio binario WKB³⁷ [Fig. 183].

³⁷ WKB: *Well – Known Binary*.

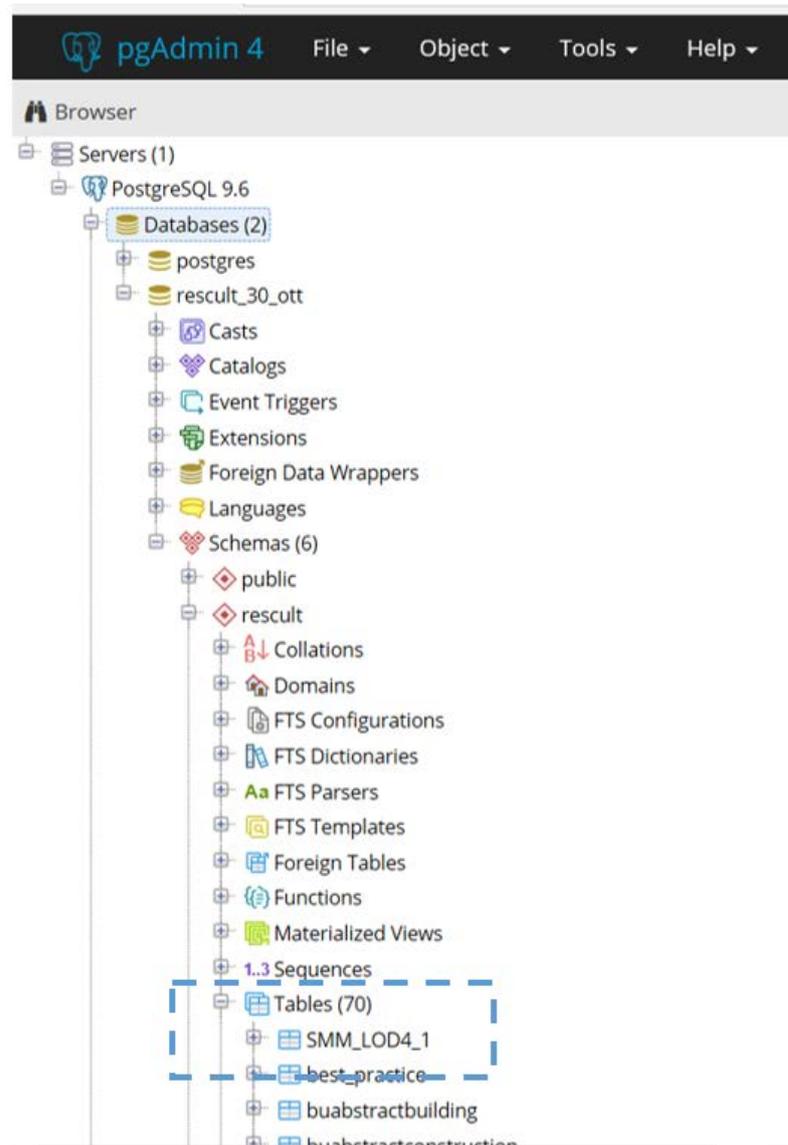


Figura 182 - Schermata da PgAdmin della struttura dell'EID. In seguito all'ultima conversione mediante FME Workbench, si è creata in automatico una nuova tabella ("SMM_LOD4_1"), contenente le geometrie del LoD4 e gli attributi corrispondenti.



Figura 183 - Schermata da PgAdmin dei dati afferenti la tabella "SMM_LOD4_1". In automatico si è generata la colonna "geom" che descrive in linguaggio binario la tipologia di geometrie di ciascun elemento.

Al fine di rendere più comprensibile la tipologia di geometrie coinvolte, si è scelto di aggiungere una nuova colonna, rinominata “wkt_geom”, che esprimesse le stesse geometrie sotto forma di testo. Questo tipo di linguaggio è noto come WKT³⁸; in fase di creazione della colonna è stato necessario impostare il formato di dati che si vuole utilizzare per la descrizione delle geometrie. A tale proposito, si è utilizzato il formato “*character varying*”, che consente la compilazione mediante stringhe di testo di lunghezza variabile.

Per la compilazione della colonna, è stata eseguita la *query* illustrata in figura 184.

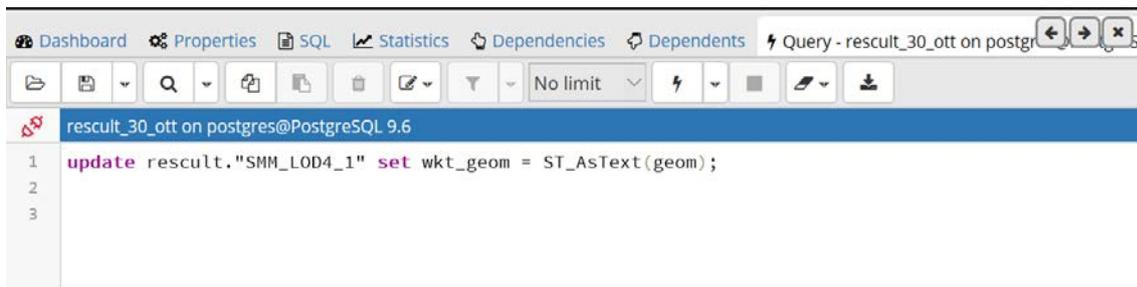


Figura 184 – Esecuzione della query che consente la conversione del linguaggio WKB in WKT.
Schermata da PgAdmin.

Gli oggetti geometrici che possono essere rappresentati nel linguaggio WKT, sono punti, linee, poligoni, tin³⁹ e poliedri. Inoltre sono ammesse le multi - geometrie, riconosciute come collezioni di geometrie.

Nel caso in esame, nell’ultimo *workspace* di FME Workbench, sono state convertite tutte le geometrie in “fme_composite_surface” [Fig. 178].

Pertanto, una volta eseguita la *query* di figura 184, nella colonna che esplicita la tipologia di geometrie coinvolte, si sono ottenuti come *output* dei poliedri, con l’informazione della z [Fig. 185].

Obiettivo finale del presente studio di tesi, è stato quello di copiare tutte le informazioni contenute nella tabella “SMM_LOD4_1”⁴⁰, all’interno di “bubuilding”⁴¹, precedentemente popolata con le geometrie del LoD3 della Chiesa.

³⁸ WKT: *Well – Known Text*.

³⁹ TIN: *Triangulated Irregular Network*, struttura dati vettoriale basata su triangoli con maglia irregolare.

⁴⁰ Tabella “SMM_LOD4_1”, identificata come tabella sorgente.

⁴¹ Tabella “bubuilding”, identificata come tabella di destinazione.

geom	wkt_geom
geometry	character varying
010F0000A0797...	POLYHEDRALSURFACE Z (((291908.184843325 5035227.650588...
010F0000A0797...	POLYHEDRALSURFACE Z (((291906.93900973 5035214.7032722...
010F0000A0797...	POLYHEDRALSURFACE Z (((291908.879348604 5035234.337841...
010F0000A0797...	POLYHEDRALSURFACE Z (((291891.739377208 5035205.663563...
010F0000A0797...	POLYHEDRALSURFACE Z (((291908.003799296 5035218.346301...
010F0000A0797...	POLYHEDRALSURFACE Z (((291892.857815853 5035213.989868...
010F0000A0797...	POLYHEDRALSURFACE Z (((291895.730745817 5035218.723753...
010F0000A0797...	POLYHEDRALSURFACE Z (((291911.557142227 5035222.262064...
010F0000A0797...	POLYHEDRALSURFACE Z (((291904.004650756 5035209.981599...

Figura 185 – Descrizione delle tipologie di geometrie coinvolte. Compilazione automatica a seguito dell'esecuzione della query di figura 180. Tutte le geometrie coinvolte sono poliedri con l'informazione della z; schermata da PgAdmin.

In questo caso, le procedure sono state eseguite esclusivamente mediante il *client* grafico PgAdmin.

Come prima operazione, all'interno della tabella di destinazione sono state create nuove colonne, e si sono definiti nome, tipologia di dato e lunghezza; i nomi sono stati copiati dalle colonne della tabella sorgente [Fig. 186]. Ciò è stato eseguito per ciascuna colonna, fatta eccezione per “name” e “ifcmateria”, già contenute anche in “bubuilding”.

Column Name
name
objecttype
tag
fasi_fase_
altro_cate
dimensioni
testo_anno
areaunit
materiali_
ifcmateria
longit
latit
geom
wkt_geom

Figura 186 – Elenco delle colonne contenute nella tabella “SMM_LOD4_1”. Schermata da PgAdmin.

A questo punto è stata eseguita la *query* che consente di copiare il contenuto di una tabella all'interno di un'altra [Fig. 187].

Una volta conclusa l'operazione, si è ottenuto il messaggio visualizzabile in figura 188.



```

1 insert into rescult.bubuilding (name,wkt_geom,ifcmateria,objecttype,tag,fasi_fase_,altro_cate,dimensioni,testo_anno,areauit,materfai_,longit,latit,geom)
2 SELECT name,wkt_geom,ifcmateria,objecttype,tag,fasi_fase_,altro_cate,dimensioni,testo_anno,areauit,materfai_,longit,latit,geom
3 FROM rescult."SMM_LOD4_1";
4

```

Figura 187 – Esecuzione della query per copiare il contenuto di una tabella all'interno di un'altra. Schermata da PgAdmin.



```

Data Output Explain Messages Notifications Query History
INSERT 0 933

Query returned successfully in 3 secs 279 msec.

```

Figura 188 – Messaggio ottenuto a seguito dell'esecuzione della query per copiare il contenuto di una tabella all'interno di un'altra. Schermata da PgAdmin.

933 è il numero di tuple inserite all'interno della tabella “*bubuilding*”; tale numero coincide con quello visibile in figura 181, relativo agli elementi contenuti nella tabella “*SMM_LOD4_1*”.

Dunque la tabella dell'EID è stata popolata correttamente. Per un'ulteriore verifica, si è aperto mediante *software* QGIS il *file* di progetto ed è stata aggiunta sulla mappa la tabella in questione [Fig. 189], inserendola nel gruppo “*LOD4*”.

Aprendo la tabella degli attributi, è possibile ritrovare i dati relativi al *LoD4* ed evidenziati in figura 190.

Le geometrie selezionate risultano essere 933, proprio come riportato in figura 188.

Pertanto l'operazione di popolamento della tabella dell'EID è andata a buon fine anche nel caso del *LoD4*.

In figura 190 è possibile visualizzare sulla mappa bidimensionale il caso studio, modellato come descritto nel capitolo 5.

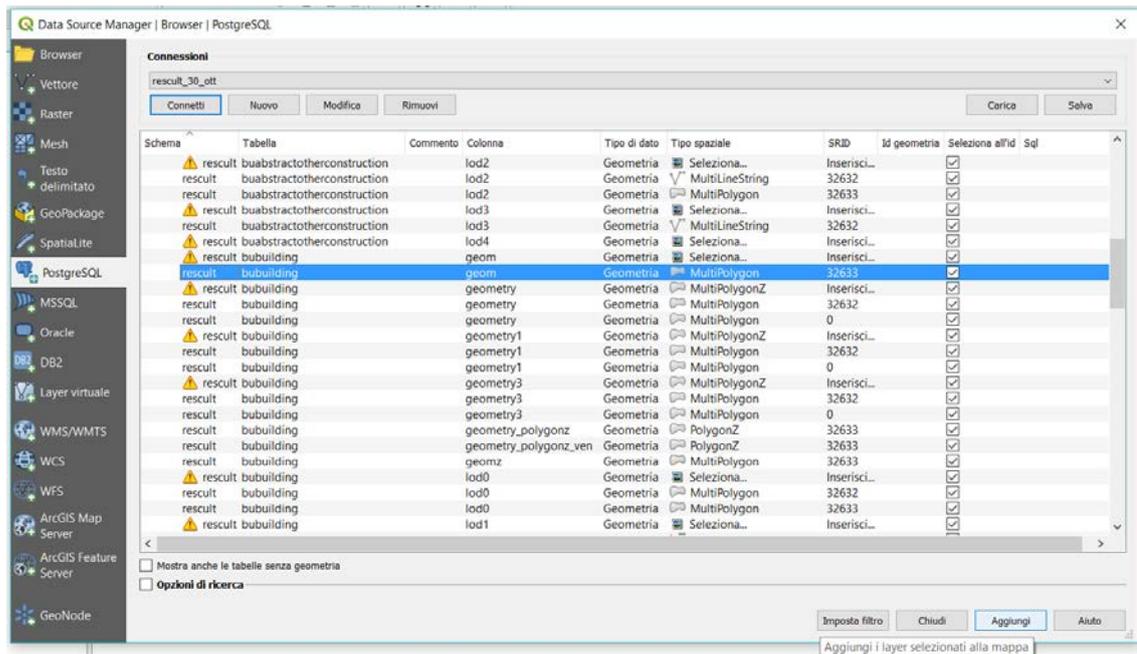


Figura 189 - Aggiunta sulla mappa del layer selezionato, corrispondente alla tabella dell'EID contenente il LoD4. Schermata da QGIS.

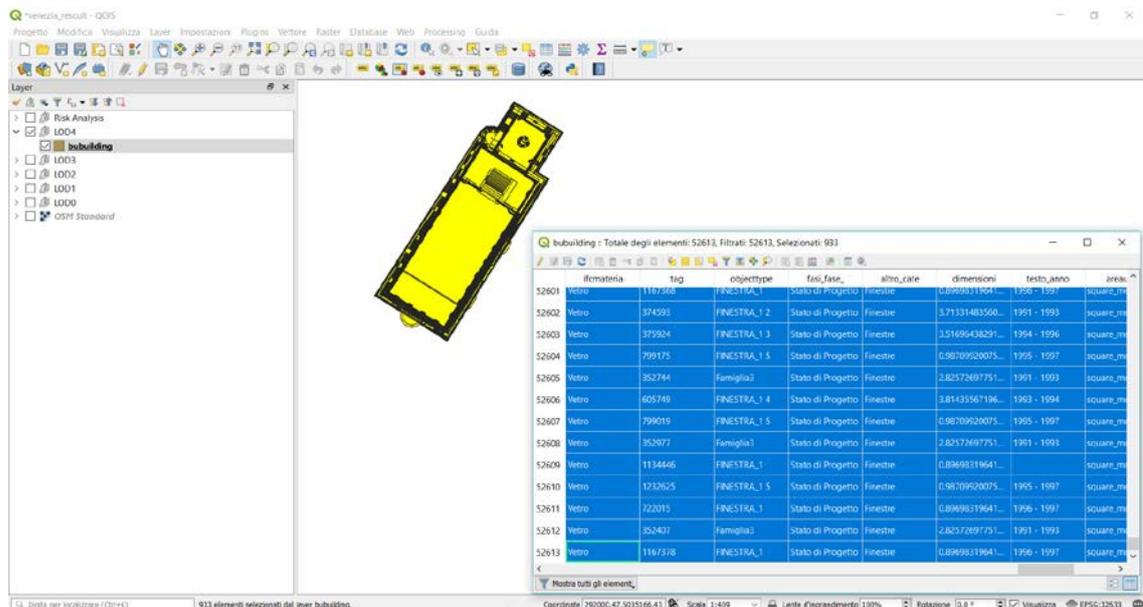


Figura 190 – Tabella degli attributi di “bubuilding”, contenente le informazioni e le geometrie associate al LoD4, visibile su mappa 2D. Schermata da QGIS.

Abilitando la visualizzazione 3D dello stesso layer, il software QGIS si chiude inaspettatamente [Fig. 191]; il problema si è ripetuto anche utilizzando PC con caratteristiche hardware diverse.

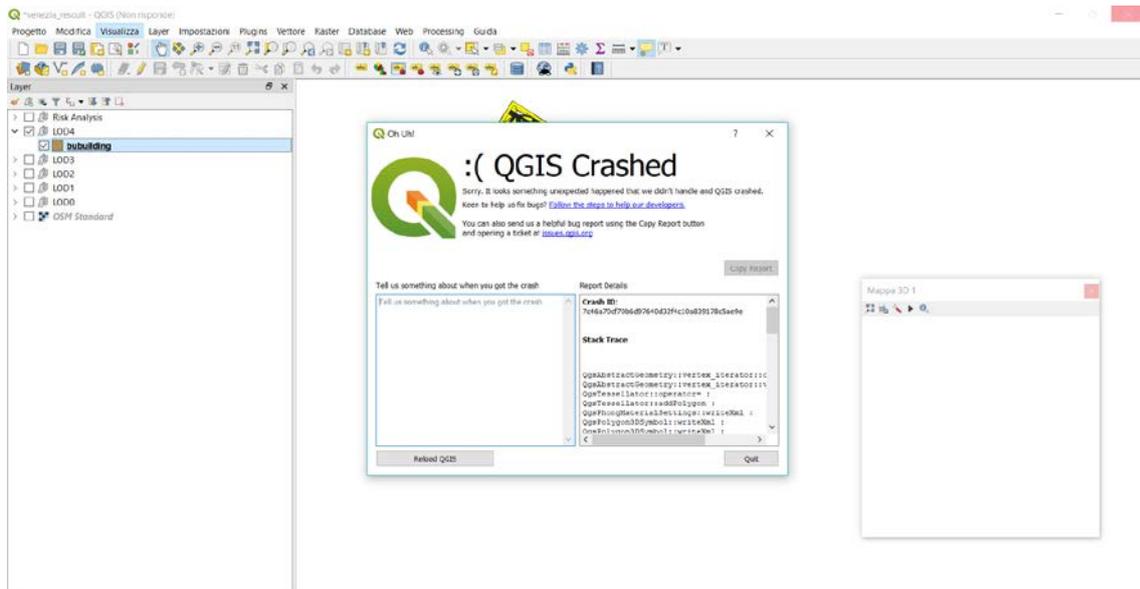


Figura 191 – Schermata da QGIS quando si abilita la visualizzazione 3D del LoD4.

Essendo QGIS un *software open source*, è stato possibile contattare direttamente la *community* dei suoi sviluppatori.

Il problema risiedeva in un *bug* della mappa 3D, che è stato prontamente sistemato per la versione Master 3.7. Si tratta di una versione coincidente con la principale del *software* QGIS, ma su cui si può agire in maniera indipendente.

La versione *Master* di un *software* rappresenta infatti una ramificazione della versione principale. A differenza di quest'ultima, che viene rilasciata in produzione, le versioni *Master*, contenenti *features* aggiuntive ancora non rese disponibili agli utenti, sono riservate esclusivamente agli sviluppatori del *software*.

Installando tale versione tramite OSGeo4W, una distribuzione binaria di un ampio *set* di *software* geo-spaziali *open source* per ambienti *Windows*, è stato dunque possibile visualizzare in 3D anche il LoD4 [Figg. 192 e 193], oltre che il LoD3 [Fig. 144]. Confrontando le figure citate, si può notare una differente qualità di visualizzazione tra i due modelli, pur avendo utilizzato lo stesso *software open source*⁴². A ciò si vuole aggiungere che per i due modelli 3D è stato possibile effettuare tematizzazioni per categorizzazione, con riferimento a un determinato campo.

⁴² Per il LoD4 è stata utilizzata la versione 3.7.0 di QGIS, mentre per il LoD3 la 3.4.3.

Pertanto cliccando sull'opzione di stile "Tramite regole" [Fig. 194], si sono differenziate per colori le varie geometrie dei modelli, sulla base dei valori unici degli elementi appartenenti al campo scelto; tali colori possono essere modificati manualmente.

A titolo esemplificativo di seguito si riportano due schermate, corrispondenti rispettivamente al LoD3 e al LoD4 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli, categorizzati per tipologia di elementi [Figg. 195 e 196].

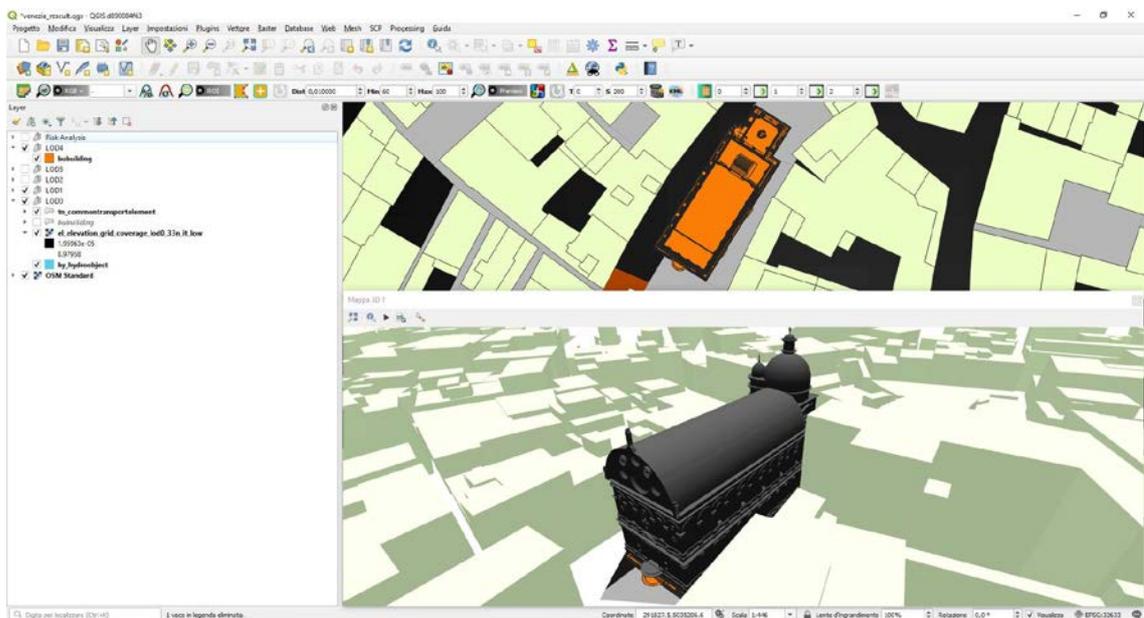


Figura 192 – Visualizzazione su mappa 3D del LoD4. Schermata da QGIS.

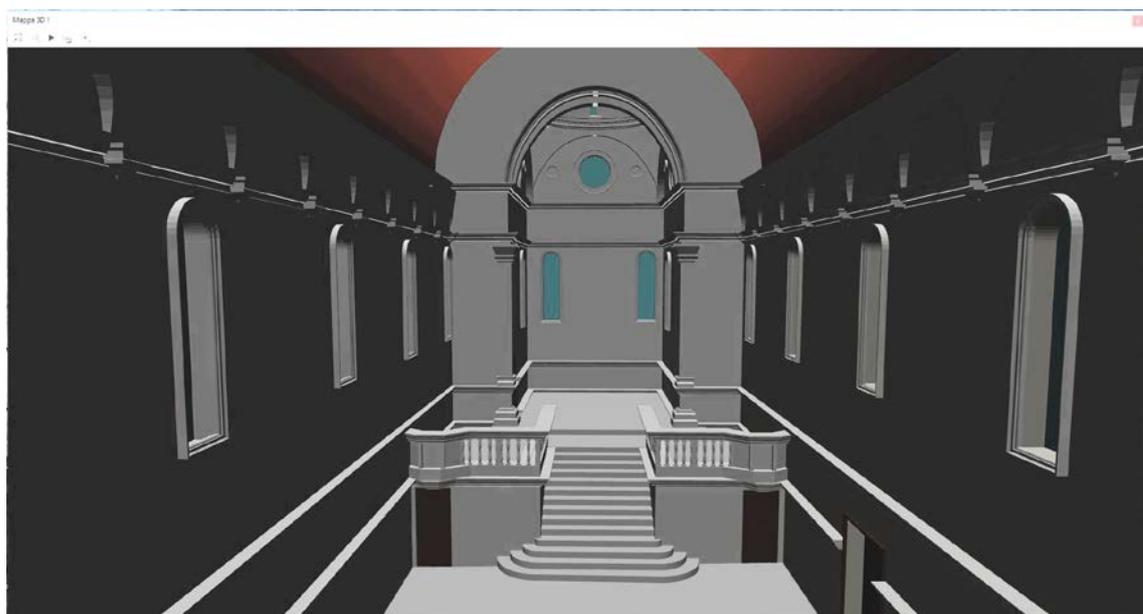


Figura 193 – Visualizzazione su mappa 3D degli interni del LoD4. Schermata da QGIS.

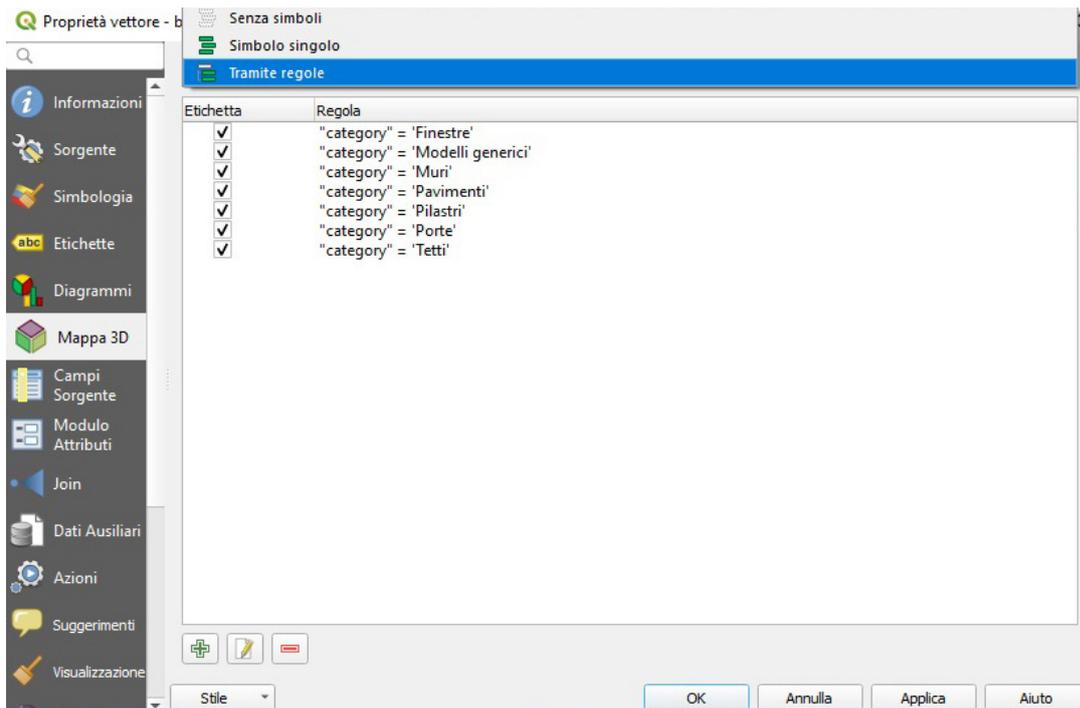


Figura 194 – Tematizzazione per categorizzazione “Tramite regole”. Per ciascuna delle regole definite, è stato scelto manualmente il colore. Schermata da QGIS.

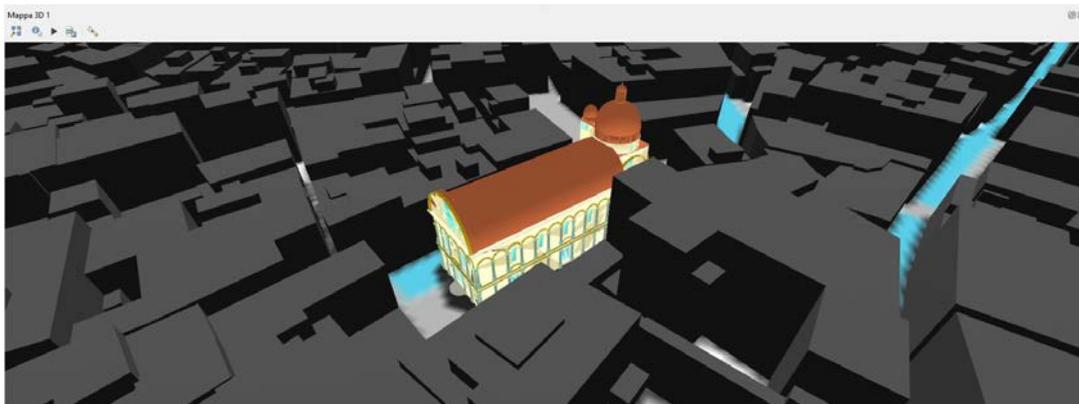


Figura 195 – Schermata da QGIS del LoD3 categorizzato per tipologia di elementi.

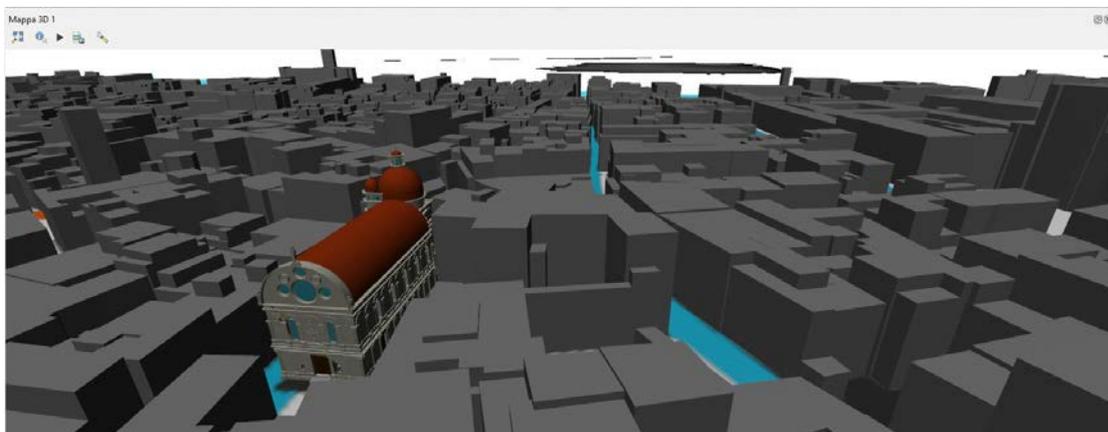


Figura 196 – Schermata da QGIS del LoD4 categorizzato per tipologia di elementi.

Come già esplicitato, il LoD3 e il LoD4 differiscono per l'aumento di dettagli riscontrabili in termini di geometrie.

A tale proposito si vuole effettuare uno *zoom* sul frontone semicircolare del prospetto principale della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli, affiancando i due livelli di dettaglio, prima ripresi con *software* Revit (2018) [Fig. 197], poi con *software* QGIS (Master 3.7) [Fig. 198].

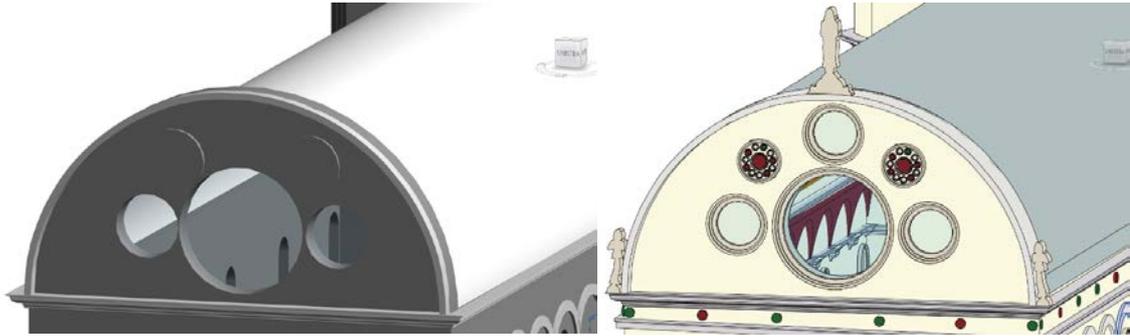


Figura 197 – Schermata da Revit 2018 del LoD3 (a sinistra) e del LoD4 (a destra). Nel LoD4 è possibile intravedere la modellazione degli interni.

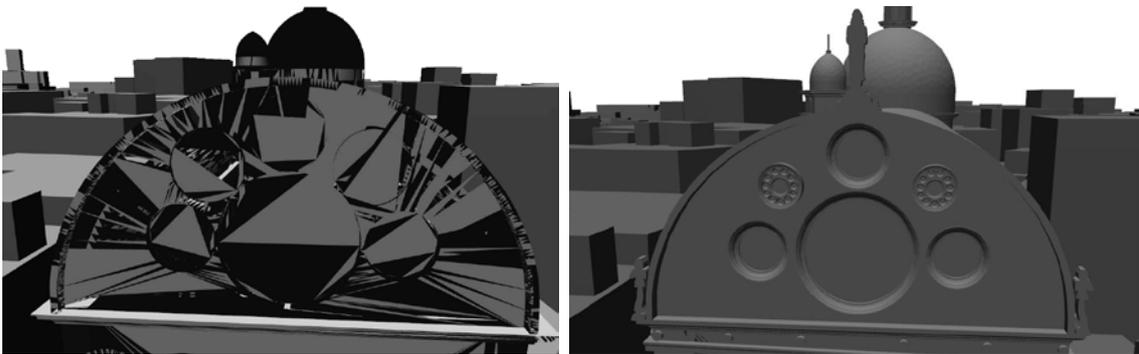


Figura 198 – Schermata da QGIS Master 3.7 del LoD3 (a sinistra) e del LoD4 (a destra).

In figura 198, il LoD3 presenta una qualità di visualizzazione notevolmente diversa da quella del LoD4. Questo molto probabilmente è dovuto alle diverse procedure effettuate e ai diversi *software* utilizzati per convertire i due modelli Revit [Figg. 136 e 145].

Conclusioni

Il presente studio di tesi ha testato l'elaborazione di un modello HBIM per la Chiesa di Santa Maria dei Miracoli, situata nel Comune di Venezia, partendo da documentazione cartacea bidimensionale non digitalizzata e acquisendo dal Geoportale della Regione Veneto materiale in formato .shp.

Il modello tridimensionale è stato realizzato secondo una scala progressivamente dettagliata basata sui LOD, nonché i “*Level Of Detail*”, così come proposta da CityGML.

Per l'ultimo livello di dettaglio (LoD4), modellato con *software* Revit, è stato previsto l'inserimento, secondo diverse modalità, di tre tipologie di informazioni:

- 1) **Posizione geografica;**
- 2) **Materiali;**
- 3) **Anno restauro.**

Avere a disposizione un modello digitale del manufatto con associate delle informazioni, può consentire per esempio agli organismi di tutela e promozione del territorio, di gestire in maniera ottimale il monitoraggio del degrado, la pianificazione di interventi di restauro e manutenzione, la tutela delle informazioni legate all'opera, la simulazione di eventi catastrofici.

Il *database* interoperabile europeo (EID) implementato per il progetto ResCult e integrato per i beni culturali, vuole rendere tali obiettivi effettivamente realizzabili.

Per questo motivo è stato inserito il LoD4 della Chiesa di Santa Maria dei Miracoli all'interno dell'EID. L'operazione di popolamento del *database* ha tuttavia richiesto la conversione del modello in un formato compatibile col GIS (.shp).

Al fine di conservare le informazioni associate alle geometrie, è stato necessario sperimentare le funzionalità del *software* FME, che consente la conversione tra numerosi formati di dati, e che mediante opportuni trasformatori, è in grado di riorganizzare la struttura del modello di dati, a seconda di quello che si vuole ottenere.

Nello specifico, mediante il *software* FME Workbench sono stati costruiti tre *workspace*, che hanno consentito sia la conversione del formato di dati dall'HBIM al GIS, sia la conservazione degli attributi, riscontrando alcune problematiche dovute all'interoperabilità.

Innanzitutto dei 936 elementi riconosciuti dal modello Revit, 3 sono stati persi durante la conversione in formato GIS, in quanto considerati elementi privi di geometria.

L'informazione sulla **posizione geografica**, inserita in Revit servendosi del servizio di localizzazione internet, con mappa Bing annessa, viene persa solo a seguito della conversione nell'ultimo *workspace*; in quest'ultimo, è stato infatti utilizzato un trasformatore, che "obbliga" tutte le geometrie a convertirsi in poliedri. Tale informazione risultava associata a un elemento privo di geometrie, e dunque riconosciuto come "*null*" dal trasformatore, che non ne ha consentito l'inserimento nella tabella del *database*.

Allo stesso modo due delle geometrie relative ai tetti sono state riconosciute come "*null*" e sono state perse durante l'ultima conversione.

Per questi ultimi, è stata persa anche l'informazione sui **materiali**, inseriti come "parametri di famiglia"; probabilmente ciò è dovuto al fatto che tali elementi sono stati creati come copia di un altro elemento modellato precedentemente e appartenente alla stessa famiglia, al quale risultano invece associate le informazioni materiche; un problema analogo è stato riscontrato per i muri.

Occorre sottolineare che per la famiglia dei tetti, in Revit è previsto l'inserimento di più materiali e che a seguito della conversione, viene conservato solo il materiale della parte strutturale. Così come per i tetti, anche per la famiglia delle porte sono stati inseriti più materiali in Revit; tuttavia, a differenza dei primi, per questi ultimi risulta inesistente il campo dei materiali.

Nel caso dei pavimenti risultano invece inseriti ben due campi inerenti l'informazione materica, rispettivamente "Materiali_" e "IfcMateria". La motivazione non è tuttora chiara.

L'**anno di restauro**, inserito come "parametro di progetto", associato alle istanze di una serie di famiglie di Revit, è stato invece salvato correttamente per ciascun elemento, anche a seguito dell'ultima conversione, che ha consentito il diretto popolamento del *database*.

Ritornando al discorso dell'assegnazione automatica delle coordinate geografiche mediante mappa Bing, si vuole sottolineare che prima della conversione nell'ultimo *workspace*, importando in uno stesso *file* ArcScene il LoD3 (precedentemente georiferito) e il LoD4, si è notato che la scala di rappresentazione di quest'ultimo, è risultata già corretta, mentre l'assetto spaziale è stato soggetto a qualche errore nelle coordinate (x, y, z).

Pertanto, nonostante alcune criticità dovute all'interoperabilità tra diversi *software*, si può affermare che la conversione dal formato HBIM al GIS è fattibile e che la maggior parte dei dati risulta conservata correttamente.

Tuttavia le procedure eseguite, risultano piuttosto complicate, lente e richiedono l'utilizzo di una serie di *software*, la maggior parte dei quali a pagamento.

Nello specifico, la modellazione tridimensionale, la successiva conversione del formato di dati BIM e la georeferenziazione in ambiente GIS, sono avvenute sfruttando *software* proprietari (rispettivamente Revit, FME Desktop e ArcGIS); l'importazione del modello HBIM in un formato compatibile con FME Desktop è stata effettuata mediante un *plugin* gratuito di Revit, FME Exporter for Revit, progettato dall'azienda *Safe Software*, mentre per il popolamento nel *database*, sono stati utilizzati *software open source*, quali QGIS, PostgreSQL, PostGIS e PgAdmin, al fine di consentire a chiunque sia in possesso delle credenziali, di poter arricchire l'EID; per il popolamento delle tabelle già presenti nel *database*, è stato inoltre necessario eseguire qualche *query* SQL.

Con l'auspicio che le procedure di conversione risulteranno presto più semplici e immediate, e che il *database* venga popolato con un maggior numero di modelli di beni culturali, arricchendolo sempre più di informazioni a essi associate, ResCult non si limiterebbe a essere solo un progetto di ricerca, ma anche un potente strumento di cui potersi servire nella realtà operativa.

Riferimenti

Articoli

- [1] D. Costanzo, F. Chiabrandò, R. Lancellotta, A. M. Lingua, A. Quattrone, D. Sabia, A. Spanò, “Rilievo 3D e monitoraggio strutturale per l’analisi post – sisma del complesso di S. Nicola a Tolentino (MC)”, pp. 315 – 323, intervento presentato al convegno “Asita”, Salerno, 21 - 23 Novembre 2017.
- [2] E. Colucci, F. Noardo, F. Matrone, A. Spanò, A. M. Lingua, “High – Level – of – Detail semantic 3D GIS for risk and damage representation of architectural heritage”, pp. 107 – 114, intervento presentato al convegno “3D Spatial Information Science – The Engine of Change”, Paesi Bassi, 1 – 5 Ottobre.
- [3] F. Biljecki, H. Ledoux, J. Stoter, “An improved LOD specification for 3D building models”, volume 59 del giornale “Computers, Environment and Urban Systems”, a cura di Elsevier Ltd., pp. 25 – 37, Paesi Bassi, Settembre 2016.
- [4] F. Chiabrandò, E. Colucci, A. M. Lingua, F. Matrone, F. Noardo, A. Spanò, “A European Interoperable Database (EID) to increase resilience of cultural heritage”, pp. 151 – 158, intervento presentato al convegno “Geoinformation for Disaster Management Conference”, Gi4DM 2018, Istanbul, 18 – 21 Marzo 2018.
- [5] F. Chiabrandò, C. Della Coletta, G. Sammartano, A. Spanò, A. Spreafico, “TORINO 1911 project: A contribution of a SLAM – based survey to extensive 3D heritage modeling”, pp. 225 – 234, intervento presentato al convegno “Towards Photogrammetry 2020”, Riva del Garda, 4 – 7 Giugno 2018.
- [6] G. Vacca, E. Quaquero, D. Pili, M. Brandolini, “GIS – HBIM integration for the management of historical buildings”, pp. 1129 – 1135, intervento presentato al convegno “Towards Photogrammetry 2020”, Riva del Garda, 4 – 7 Giugno 2018.
- [7] G. Vacca, E. Quaquero, D. Pili, M. Brandolini, “Integrating BIM an GIS data to support the management of large building stocks”, pp. 647 – 653, intervento presentato al convegno “3D Spatial Information Science – The Engine of Change”, Paesi Bassi, 1 – 5 Ottobre.

- [8] K. A. Ogori, F. Biljecki, A. Diakité, T. Krijnen, H. Ledoux, J. Stoter, “Towards an integration of GIS and BIM data: what are the geometric and topological issues?”, pp. 1 – 8, intervento presentato alla conferenza “12th 3D Geoinfo”, Melbourne, 26 - 27 Ottobre 2017.
- [9] K. A. Ogori, H. Ledoux, J. Stoter, “GEO – BIM data integration: easier said than done?”, volume 9 numero 4 del giornale “Geospatial World”, pp. 35 – 38, Paesi Bassi, Novembre – Dicembre 2018.

Bibliografia

- [10] A. M. Lingua, “Cartografia numerica e GIS”, Politecnico di Torino, 2018.
- [11] M. Piana, W. Wolters, “Santa Maria dei Miracoli a Venezia. La storia, la fabbrica, i restauri”, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Collana “Monumenta Veneta”, a cura di T. Pignatti, F. Valcanover, D. Calabi, G. Pavanello, Venezia, 2003.
- [12] POLITO, “D 2.1: European Interoperable Database (EID) conceptual model (first release)”, Deliverable del progetto ResCult, DG – ECHO European Commission Humanitarian Aid And Civil Protection, Agosto 2017.
- [13] POLITO, “D 2.2: European Interoperable Database (EID) conceptual model (final release)”, Deliverable del progetto ResCult, DG – ECHO European Commission Humanitarian Aid And Civil Protection, Maggio 2018.
- [14] POLITO, SITI, “D 2.3: EID Structure (model)”, Deliverable del progetto ResCult, DG – ECHO European Commission Humanitarian Aid And Civil Protection, Maggio 2018.
- [15] POLITO, SITI, “D 2.4: EID Interface (model)”, Deliverable del progetto ResCult, DG – ECHO European Commission Humanitarian Aid And Civil Protection, Maggio 2018.
- [16] Safe Software Inc., “Data Integration with FME Desktop”, manuale per l’utilizzo del software FME Desktop 2018.1, Copyright 1994 – 2018.
- [17] Safe Software Inc., “FME Desktop Basic Training Manual”, manuale per l’utilizzo del software FME Desktop 2018.1, Copyright 1994 – 2018.

- [18] SDIS 04, “D 3.2: Simulation of disaster / Crisis management”, Deliverable del progetto ResCult, DG – ECHO European Commission Humanitarian Aid And Civil Protection, Giugno 2018.
- [19] SDIS 04, SITI, CORILA, TUB, “D 1.1: Analysis of data requirements”, Deliverable del progetto ResCult, DG – ECHO European Commission Humanitarian Aid And Civil Protection, Aprile 2017.
- [20] Segreteria Regionale all’Ambiente e Territorio, “Unità di progetto per il SIT e la cartografia. DB Cartografico”, giunta della Regione Veneto, L.R. 16 Luglio 1976 n° 28, versione 1.5.
- [21] SITI, CORILA, POLITO, “D 1.2: Analysis of European standards: cultural heritage classification criteria, Geo-spatial data, Metadata and 3D Geometry”, Deliverable del progetto ResCult, DG – ECHO European Commission Humanitarian Aid And Civil Protection, Giugno 2017.
- [22] UNISDR, “Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030”, documento internazionale adottato dagli Stati membri delle Nazioni Unite durante la terza conferenza mondiale sulla riduzione dei rischi di catastrofi, Sendai, 14 - 18 Marzo 2015.
- [23] UNISDR, SITI, “D 1.3: Review of best practice in Europe: Cultural Heritage Database to support disaster risk management”, Deliverable del progetto ResCult, DG – ECHO European Commission Humanitarian Aid And Civil Protection, Giugno 2017.

Sitografia

- [24] circesoftware.net - Ultima consultazione 13/01/2019;
- [25] community.esri.com - Ultima consultazione 25/02/2019;
- [26] geoslam.com - Ultima consultazione 02/01/2019;
- [27] gis.stackexchange.com - Ultima consultazione 25/02/2019;
- [28] idt2.regione.veneto.it - Ultima consultazione 04/05/2018;
- [29] it.gopro.com - Ultima consultazione 02/01/2019;
- [30] it.wikipedia.org - Ultima consultazione 19/03/2019;
- [31] knowledge.safe.com - Ultima consultazione 03/03/2019;
- [32] knowledge.autodesk.com - Ultima consultazione 01/02/2019;

- [33] learnosm.org - Ultima consultazione 10/03/2019;
- [34] leica-geosystems.com - Ultima consultazione 13/01/2019;
- [35] postgis.net - Ultima consultazione 12/03/2019;
- [36] youtu.be/mqxi-WalyTo - Ultima consultazione 11/11/2018;
- [37] youtu.be/kAcwCM4sT-0 - Ultima consultazione 11/11/2018;
- [38] youtu.be/yMTNWuXZbUg - Ultima consultazione 11/11/2018;
- [39] youtu.be/qK7zGoVbjX8 - Ultima consultazione 11/11/2018;
- [40] youtu.be/39IPnBOkT38 - Ultima consultazione 11/11/2018;
- [41] youtu.be/NmtEd4gZIyY - Ultima consultazione 11/11/2018;
- [42] rescult3dmodels.altervista.org - Ultima consultazione 15/02/2019;
- [43] rgp.ign.fr - Ultima consultazione 07/12/2018;
- [44] stackoverflow.com - Ultima consultazione 05/03/2019;
- [45] www.agisoft.com - Ultima consultazione 13/11/2018;
- [46] www.apple.com - Ultima consultazione 03/12/2018;
- [47] www.cloudcompare.org - Ultima consultazione 19/01/2019;
- [48] www.dji.com - Ultima consultazione 13/01/2019;
- [49] www.esri.com - Ultima consultazione 25/02/2019;
- [50] www.faro.com - Ultima consultazione 02/01/2019;
- [51] www.leica.com - Ultima consultazione 13/01/2019;
- [52] www.microgeo.it - Ultima consultazione 12/01/2019;
- [53] www.nikon.it - Ultima consultazione 03/12/2018;
- [54] www.pgadmin.org - Ultima consultazione 15/03/2019;
- [55] www.postgresql.org - Ultima consultazione 15/03/2019;
- [56] www.qgis.org - Ultima consultazione 17/03/2019;
- [57] www.rescult-project.eu - Ultima consultazione 19/03/2019;
- [58] www.safe.com/fme/fme-desktop - Ultima consultazione 03/03/2019;
- [59] www.starnetsoftware.it - Ultima consultazione 12/01/2019;
- [60] www.tripadvisor.it - Ultima consultazione 02/02/2019;
- [61] www.unisdr.org - Ultima consultazione 20/10/2018;

Software utilizzati

- [62] ArcMap 10.6.1;
- [63] ArcScene 10.6.1;
- [64] AutoCAD 2018;
- [65] FME Workbench 2018.1;
- [66] FME Data Inspector 2018.1;
- [67] PgAdmin4 3.4;
- [68] PostGIS 2.5;
- [69] PostgreSQL 9.6.10;
- [70] QGIS Desktop 3.4.3;
- [71] Revit 2018.

Tesi

- [72] A. Rabbia, “Indagini sulle Necropoli Etrusche nel Parco Archeologico di Baratti e Populonia. Integrazione di strumenti avanzati per il rilievo metrico 3D e la rappresentazione dei dati in ambiente cartografico tramite strumenti GIS”, Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino, Dicembre 2018.
- [73] C. Borriello, “From point cloud based models to VR visualization for Cultural Heritage at Risk: St. Nicola Church in Tolentino”, Master of Science in Architecture for Heritage Preservation and Enhancement, Politecnico di Torino, Luglio 2018.
- [74] E. Colucci, “Architettura e natura di paesaggi archeologici. Analisi spaziali integrate in ambiente WEB – GIS per la conservazione e la comunicazione della memoria storica: il Parco Archeominerario di San Silvestro”, Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino, Febbraio/Marzo 2017.
- [75] E. Salvatore, “Utilizzo di tecniche innovative della geomatica per l’acquisizione di dati in ambito archeologico”, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile, Politecnico di Torino, Marzo 2018.

- [76] F. Matrone, “Rilevamento metrico 3D e modellazione HBIM per la manutenzione programmata del patrimonio architettonico. Il caso studio del Sacro Monte di Varallo”, Corso di Specializzazione in Beni Architettonici e del Paesaggio, Politecnico di Torino, Aprile 2017.
- [77] R. Stano, “Acquisizione multi-sensore del Chiostro di San Nicola a Tolentino per il modello parametrico”, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile, Politecnico di Torino, Ottobre 2017.

Allegati

Ringraziamenti

Ed eccomi qui, per la seconda volta, a scrivere i ringraziamenti della mia tesi e a tirare le somme di questi ultimi anni.

Indubbiamente più matura e consapevole di quello che voglio, non più spaventata dai cambiamenti o dagli imprevisti che inevitabilmente la vita ha in serbo.

Vorrei iniziare col ringraziare tutto il *team* di Geomatica del Politecnico di Torino, DAD e DIATI, che mi ha consentito di avviare e concludere questo studio di tesi, dandomi fiducia e facendomi partecipare attivamente alle attività di acquisizione sul campo. La disponibilità nel condividere il proprio sapere con me e la passione con cui il *team* svolge questo lavoro, mi hanno permesso non solo di imparare qualcosa di nuovo, ma mi ha trasmesso la curiosità e la voglia di imparare ancora.

Il ringraziamento più grande va alla mia famiglia, per aver creduto in me, senza mai criticare le mie decisioni, ma al contrario supportandomi come solo l'amore di un padre, una madre e un fratello può fare. Vi dico grazie e spero che i sacrifici fatti finora per me, vi possano in qualche modo "ripagare". Vi voglio bene!

Ringrazio chi non c'è più fisicamente, ma nei sogni ritorna a esserlo. Questo mi basta per tornare a sorridere una volta sveglia e per convincermi di avere più di un angelo che mi sorveglia.

Non meno importante, vorrei ringraziare Alfonso, che praticamente dall'inizio del mio percorso universitario qui a Torino, è testimone della parte più fragile di me, ma soprattutto degli scleri e dei momenti di sconforto. Lo ringrazio perché nonostante tutto ha scelto di rimanere al mio fianco, credendo in me più di quanto io stessa riesca a fare. Riesci a darmi più forza di quello che pensi, e sono felice di condividere con te non solo i nostri traguardi, ma anche la nostra quotidianità.

Ringrazio i miei amici "torinesi" di adozione come me e non, per aver trascorso e per continuare a trascorrere con me bei momenti, tra pranzi e cene, che ricordano tanto quelli domenicali del Sud.

Vorrei ringraziare anche le ragazze tirocinanti e tesiste del laboratorio di Geomatica, che in quest'ultimo periodo hanno condiviso con me le intere giornate, a tal punto da definirci coinquiline!

A questo punto non potrei non ringraziare quelle che sono state le mie vere coinquiline, Tania e Ilaria, con le quali, sebbene gli anni trascorsi a distanza, si è mantenuto un rapporto di amicizia tale, da non averle dovute pregare per essere oggi fisicamente qui con me a festeggiare insieme questo giorno per me importante.

Chi più di una collega di corso può capire quello che si prova in sessione di esame o durante i progetti di gruppo? Aggiungiamo il fatto che entrambe abbiamo dovuto letteralmente ricominciare da zero, chi a Milano, chi a Torino. Ringrazio la mia amica Alessia, per esserci date forza a vicenda e per l'essere sempre stata schietta e sincera. Sono qualità rare che devono solo essere apprezzate, non criticate. Vai avanti così, che c'è chi ti adora per come sei!

Qui al Politecnico di Torino ho avuto modo di lavorare in gruppo con diversi studenti, ma se dovessi ringraziarne qualcuno, senza dubbio sceglierei Melania e Tiziana, che vanno al di là delle semplici colleghe di corso. Vi dico grazie per questi anni insieme.

Ultime, ma non per importanza, vorrei ringraziare Katia e Alessandra, amiche storiche, potrei dire da una vita. I km che ci separano non hanno ridotto l'amicizia che ci lega e sono certa che continuerà a essere così.

Ad maiora semper



TIROCINIO

*Attività di acquisizione del Museo della Preistoria a **Quinson**.*

11/06/2018 – 13/06/2018



STAGE

*Attività di acquisizione della Basilica di San Nicola a **Tolentino**.*

06/09/2018



