



POLITECNICO DI TORINO
COLLEGIO DI INGEGNERIA EDILE

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

**Costruzione di un GIS 3D per la rappresentazione
delle aree terremotate a scala urbana**

**Building a 3D GIS to represent
the earthquake areas in an urban scale**

Relatore

Prof. Andrea Maria Lingua

Correlatrici

Arch. Colucci Elisabetta
Arch. Matrone Francesca

Candidata

Paola Pasqualini

Anno Accademico 2018-2019

*se poniamo a confronto il fiume e la roccia,
il fiume vince sempre: non grazie alla sua forza, ma alla sua perseveranza.*

Buddha

Ai miei genitori

INDICE

INTRODUZIONE	1
RESILIENZA DEL PATRIMONIO CULTURALE.....	4
1.1 Il concetto di resilienza.....	4
1.2 La resilienza a livello comunitario.....	6
1.2.1 Progettazione resiliente.....	7
1.3 La resilienza in ambito urbanistico	8
1.3.1 Rotterdam: un esempio di città resiliente	9
1.3.2 Il progetto BlueAp per Bologna	10
1.4 La resilienza del Patrimonio Culturale.....	10
1.4.1 Heracles per la resilienza del patrimonio Culturale	11
RESCULT	13
2.1 Il progetto ResCult	13
2.2 Definizione e modelli di Database	14
2.2.1 Il modello gerarchico	14
2.2.2 Il modello reticolare.....	15
2.2.3 Il modello relazionale	16
2.2.4 Il modello orientato agli oggetti	16
2.3 La progettazione dell'EID di ResCult.....	18
2.3.1 I modelli INSPIRE e CityGML.....	19
2.3.2 La struttura dell'EID di ResCult	20
CAMPI.....	24
3.1 Inquadramento territoriale	24
3.1.1 I Monti Sibillini e il Parco Nazionale	25
3.1.2 Valle Castoriana	28
3.1.3 Norcia.....	29
3.2 Campi Alto, cenni storici.....	30
3.2.1 Chiesa di Sant'Andrea	31

3.2.2 Chiesa di San Salvatore	32
3.3 Sequenza sismica di Amatrice, Norcia e Visso	34
3.3.1 Definizione e intensità di un sisma	34
3.3.2 Il terremoto del 30 Ottobre 2016.....	35
ACQUISIZIONE DEI DATI.....	38
4.1 Introduzione alle tecniche di rilievo.....	38
4.1.1 Il rilievo diretto.....	39
4.1.2 Il rilievo indiretto.....	41
4.2 La fotogrammetria	43
4.2.1 I principi e le fasi del rilievo fotogrammetrico	44
4.3 La fotogrammetria digitale	47
4.4 La fotogrammetria aerea.....	48
4.4.1 Il rilievo fotogrammetrico con UAV	48
4.5 Acquisizione dei dati per Campi Alto	50
4.5.1 Il Team DIRECT, Disaster Recovery Team	50
4.5.2 La campagna di rilevamento a cura del team DIRECT	51
4.5.3 Acquisizione dei dati tramite UAV	57
ELABORAZIONE DEI DATI	68
5.1 Organizzazione del lavoro	68
5.1.1 Allineamento dei fotogrammi	73
5.1.2 Collimazione da Ground Control Point	75
5.2 Costruzione della nuvola di punti	80
5.3 Generazione della <i>Mesh</i>	83
5.4 Modello Digitale di Elevazione e Ortofoto	85
5.4.1 Costruzione del DSM	86
5.4.2 Costruzione Ortofoto	87
5.5 Generazione DTM dal Geoportale	88
5.5.1 Conversione delle coordinate da Gauss-Boaga a WGS 84.....	90
5.5.2 Generazione del DTM	93
5.5.3 Analisi dei risultati	95

5.6 Preparazione nuvola densa di punti	97
5.6.1 CloudCompare	97
5.6.2 ReCap 360.....	99
5.7 Modellazione tridimensionale	103
5.7.1 Metodo 3D Polyline.....	105
5.7.2 Metodo 3D Polyline e Parallelogrammi	108
IMPLEMENTAZIONE DEL DB DI RESCULT.....	119
6.1 GIS: Geographic Information System.....	119
6.2 Organizzazione degli elaborati in LoD	119
6.2.1 Livello di Dettaglio 0.....	120
6.2.2 Livello di Dettaglio 1	122
6.2.3 Livello di Dettaglio 2.....	125
6.3 Il <i>software QGis</i>	131
6.3.1 Il linguaggio SQL	131
6.3.2 L'interfaccia grafica di PostgreSQL.....	132
6.3.3 PostGis, estensione spaziale di PostgreSQL.....	132
6.4 Popolamento del <i>database</i> di ResCult	132
6.4.1 Aggiornamento dei trigger	136
6.5 Creazione di nuove tabelle	137
6.6 Il risultato finale	142
6.6.1 Categorizzazione per tipologia del LOD_2	146
CONCLUSIONI.....	148
BIBLIOGRAFIA.....	150
SITOGRAFIA	154
ALLEGATI	156
RINGRAZIAMENTI.....	157

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1 – Modello gerarchico.....	15
Fig. 2 – Modello Reticolare	16
Fig. 3 – Modello di database orientato agli oggetti.....	17
Fig. 4 – Rappresentazione grafica dei Livelli di Dettaglio	21
Fig. 5 – Il cuore del database di ResCult	21
Fig. 6 – Building	22
Fig. 7 – Hazard and Risk	22
Fig. 8 – Hydro object and Common Transport Element	23
Fig. 9 – Campi Alto di Norcia (PG).....	24
Fig. 10 – Monti Sibillini	25
Fig. 11 – Monte Vettore, 2476 metri s.l.m.	26
Fig. 12 – Lago di Pilato	27
Fig. 13 – Castelluccio di Norcia.....	28
Fig. 14 – Valle Castoriana	28
Fig. 15 – Piazza San Benedetto, Norcia	29
Fig. 16 – Campi Alto, porta cinquecentesca e loggia pensile.....	30
Fig. 17 – Chiesa di Sant’Andrea, Campi Alto	31
Fig. 18 – Chiesa di Sant’Andrea dall’interno	32
Fig. 19 – Chiesa di San Salvatore, Campi Basso	33
Fig. 20 – Scala Mercalli.....	35
Fig. 21 – Scala Richter	35
Fig. 22 – Chiesa di Sant’Andrea dopo il terremoto, vista dall’alto.....	36
Fig. 23 – Chiesa di Sant’Andrea dopo il terremoto, vista frontale	36
Fig. 24 – Filo a piombo	39
Fig. 25 – Livella ad acqua.....	40
Fig. 26 – Livella a bolla d’aria.....	40
Fig. 27 – Rotella metrica	41
Fig. 28 – Distanziometro laser	41
Fig. 29 – Stazione Totale.....	42
Fig. 30 – Geometria della presa fotogrammetrica.....	45

Fig. 31 – Sistema di assi cartesiani visualizzato con marche	46
Fig. 32 – Rappresentazione raster di un fotogramma.....	48
Fig. 33 – Schematizzazione fasi di rilevamento	51
Fig. 34 – Materializzazione del vertice CA_100	52
Fig. 35 – Vertici per la definizione della rete di inquadramento	53
Fig. 36 – Strumenti topografici su vertici.....	53
Fig. 37 – Posizionamento marker a terra.....	54
Fig. 38 – Marker per l’orientamento dei voli UAV	55
Fig. 39 – Eidotipo Chiesa di Sant’Andrea	56
Fig. 40 – Eidotipo Campi Alto in fase di acquisizione dati.....	56
Fig. 41 – DJI Phantom 4 PRO	57
Fig. 42 – DJI Mavic PRO	58
Fig. 43 – DJI Spark	59
Fig. 44 – Definizione della scala media dei fotogrammi.....	61
Fig. 45 – Schema di presa e generazione modelli stereoscopici.....	63
Fig. 46 – Esempio di fotogrammi per il ricoprimento longitudinale	64
Fig. 47 – Piano di volo Phantom 4 PRO, zona superiore	65
Fig. 48 – Piano di volo Phantom 4 PRO, zona centrale	65
Fig. 49 – Piano di volo Phantom 4 PRO, zona inferiore	66
Fig. 50 – Piano di volo Mavic PRO	66
Fig. 51 – Piano di volo Spark.....	67
Fig. 52 – Add photos.....	69
Fig. 53 – Caricamento fotogrammi nel Chunk 1	69
Fig. 54 – Caricamento fotogrammi nel Chunk 2	70
Fig. 55 – Esempio 1 di fotogrammi eliminati.....	70
Fig. 56 – Esempio 2 di fotogrammi eliminati.....	71
Fig. 57 – Caricamento fotogrammi Chunk 3	71
Fig. 58 – Caricamento coordinate nel Chunk 1	72
Fig. 59 – Caricamento coordinate nel Chunk 2	72
Fig. 60 – Caricamento coordinate nel Chunk 3	73
Fig. 61 – Align Photos.....	73
Fig. 62 – Nuvola sparsa di punti dopo l’allineamento	74

Fig. 63 – Numero foto allineate del Chunk 1	75
Fig. 64 – Esempio di marker.....	76
Fig. 65 – Filter Photos by Marker	76
Fig. 66 – Esempio di fotogramma con marker posizionati.....	77
Fig. 67 – Optimaze cameras	78
Fig. 68 – Build dense Cloud	81
Fig. 69 – Nuvola densa vista generale generata dal Chunk 1	81
Fig. 70 – Nuvola densa vista di dettaglio generata dal Chunk 1.....	82
Fig. 71 – Nuvola densa generata dal Chunk 2	82
Fig. 72 – Nuvola densa generata dal Chunk 3	83
Fig. 73 – Mesh vista dall’alto del Merged Chunk.....	84
Fig. 74 – Mesh vista frontale del Merged Chunk	84
Fig. 75 – Mesh vista laterale destra del Merged Chunk	85
Fig. 76 – Mesh vista laterale sinistra del Merged Chunk	85
Fig. 77 – Impostazione dei parametri per la costruzione del DEM	86
Fig. 78 – DSM.....	87
Fig. 79 – Impostazione dei parametri per la costruzione dell’Ortofoto	87
Fig. 80 – Ortofoto.....	88
Fig. 81 – Inquadramento territoriale	89
Fig. 82 – Circostrizione Campi Alto.....	90
Fig. 83 – Sezione 325100	91
Fig. 84 – Selezione del layer 8030 dei punti quotati.....	91
Fig. 85 – ConveRgo	92
Fig. 86 – Shapefile unico layer 8030.....	94
Fig. 87 – Natural Neighbour	95
Fig. 88 – DTM	95
Fig. 89 – Mappa Topografica Modiale.....	96
Fig. 90 – Sovrapposizione DSM con la Mappa Topografica Mondiale.....	96
Fig. 91 – Importazione della nuvola densa in CloudCompare	97
Fig. 92 – Alleggerimento della nuvola densa	98
Fig. 93 – Nuvola alleggerita	98
Fig. 94 – Schema della suddivisione in undici regioni.....	99

Fig. 95 – Regione 1	100
Fig. 96 – Regione 2	100
Fig. 97 – Regione 3	100
Fig. 98 – Regione 4	101
Fig. 99 – Regione 5	101
Fig. 100 – Regione 6	101
Fig. 101 – Regione 7	102
Fig. 102 – Regione 8	102
Fig. 103 – Regione 9	102
Fig. 104 – Regione 10	103
Fig. 105 – Regione 11	103
Fig. 106 – Ortofoto e DSM sovrapposti	104
Fig. 107 – Indicazione altimetrica di un punto selezionato	104
Fig. 108 – Esempio di polilinee 3D di base e di sommità, metodo 3Dpoly	105
Fig. 109 – Costruzione prima faccia dell’edificio	105
Fig. 110 – Costruzione seconda faccia dell’edificio	106
Fig. 111 – Costruzione terza faccia dell’edificio	106
Fig. 112 – Rappresentazione completa dell’edificio con polilinee 3D	106
Fig. 113 – Nuvola di punti con edifici realizzati mediante polilinee	107
Fig. 114 – Regione 1 rappresentata con polilinee 3D	107
Fig. 115 – Esempio di polilinee 3D di base e di sommità	108
Fig. 116 – Parallelogramma tridimensionale	108
Fig. 117 – Regione 1 con nuvola	109
Fig. 118 – Modello tridimensionale della Regione 1	109
Fig. 119 – Regione 2 con nuvola	110
Fig. 120 – Modello tridimensionale della Regione 2	110
Fig. 121 – Regione 3 con nuvola	110
Fig. 122 – Modello tridimensionale della Regione 3	111
Fig. 123 – Regione 4 con nuvola	111
Fig. 124 – Modello tridimensionale della Regione 4	111
Fig. 125 – Regione 5 con nuvola	112
Fig. 126 – Modello tridimensionale della Regione 5	112

Fig. 127 – Regione 6 con nuvola	112
Fig. 128 – Modello tridimensionale della Regione 6	113
Fig. 129 – Regione 7 con nuvola	113
Fig. 130 – Modello tridimensionale della Regione 7	113
Fig. 131 – Regione 8 con nuvola	114
Fig. 132 – Modello tridimensionale della Regione 8	114
Fig. 133 – Regione 9 con nuvola	114
Fig. 134 – Modello tridimensionale della Regione 9	115
Fig. 135 – Regione 10 con nuvola	115
Fig. 136 – Modello tridimensionale della Regione 10	115
Fig. 137 – Regione 11 con nuvola	116
Fig. 138 – Modello tridimensionale della Regione 11	116
Fig. 139 – Modello completo con nuvola.....	117
Fig. 140 – Modello completo vista dall’alto.....	117
Fig. 141 – Modello completo vista laterale	118
Fig. 142 – Idrografia dalla CTR.....	120
Fig. 143 – Trasporti dalla CTR	121
Fig. 144 – Planimetria degli edifici dalla CTR	121
Fig. 145 – Shapefile di trasporti, idrografia ed edifici	122
Fig. 146 – Modello tridimensionale del LOD_1.....	122
Fig. 147 – LOD_1 in formato .IGS su 3DReshaper.....	123
Fig. 148 – Costruisci mesh dalle superfici su CAD	124
Fig. 149 – Mesh del LOD_1	124
Fig. 150 – Schematizzazione passaggi da .dwg a .dxf	124
Fig. 151 – LOD_1 in formato .shp.....	125
Fig. 152 – Shapefile separati di ciascun layer del LOD_2	126
Fig. 153 – Add Field.....	127
Fig. 154 – Nuovo campo Tipologia	127
Fig. 155 – Field Calculator	128
Fig. 156 – Tipologia Tetto per il layer Tetti	128
Fig. 157 – Unione degli shapefile separati	129
Fig. 158 – LOD_2	129

Fig. 159 – Categorizzazione dello shapefile unico	130
Fig. 160 – LOD_2 definitivo	130
Fig. 161 – Nuovo DB in PgAdmin.....	133
Fig. 162 – Importazione degli shapefile in QGis	134
Fig. 163 – Connessione al DB 12mar_rescult	134
Fig. 164 – Selezione della tabella hy_hydroobject	135
Fig. 165 – Messaggio di errore	135
Fig. 166 – Script per la creazione di un nuovo trigger	136
Fig. 167 – Importazione dello shapefile idrografia.....	137
Fig. 168 – Nuova tabella in PgAdmin.....	138
Fig. 169 – Colonna Wtk_geom.....	138
Fig. 170 – Definizione delle caratteristiche della colonna wkt_geom	139
Fig. 171 – Script per l’associazione della geometria corretta.....	139
Fig. 172 – Creazione della colonna ID.....	139
Fig. 173 – Definizione della colonna ID	140
Fig. 174 – Creazione della colonna WTK_GEOM.....	140
Fig. 175 – Definizione della colonna WKT_GEOM	140
Fig. 176 – Script per l’accorpamento delle tabelle	141
Fig. 177 – Script per l’associazione della geometria corretta, trasporti	141
Fig. 178 – Script per l’accorpamento delle tabelle, trasporti.....	141
Fig. 179 – Script per l’associazione della geometria corretta, edifici LOD_0	141
Fig. 180 – Script per l’accorpamento delle tabelle, edifici LOD_0	141
Fig. 181 – Script per l’associazione della geometria corretta, modello LOD_1.....	141
Fig. 182 – Script per l’accorpamento delle tabelle, modello LOD_1	141
Fig. 183 – Script per l’associazione della geometria corretta, modello LOD_2.....	141
Fig. 184 – Script per l’accorpamento delle tabelle, modello LOD_2	142
Fig. 185 – Inserimento hy_hydroobject LOD_0.....	142
Fig. 186 – Inserimento tn_commontransportelement LOD_0.....	143
Fig. 187 – Inserimento bubuilding LOD_0	143
Fig. 188 – Inserimento bubuilding LOD_1	143
Fig. 189 – Inserimento bubuilding LOD_2	144
Fig. 190 – LOD_0	144

Fig. 191 – Impostazione dei parametri della mappa 3D.....	145
Fig. 192 – Impostazione dei parametri della mappa 3D per il LOD_1	145
Fig. 193 – Mappa 3D del LOD_1	146
Fig. 194 – Categorizzazione LOD_2 tramite regole	146
Fig. 195 – Mappa 3D del LOD_2	147

INDICE DELLE TABELLE

Tab. 1 – Caratteristiche dei Livelli di Dettaglio.....	20
Tab. 2 – Classificazione degli UAVs	49
Tab. 3 – Coordinate dei vertici per la rete di inquadramento	54
Tab. 4 – Coordinate marker a terra	55
Tab. 5 – Caratteristiche della fotocamera sul Phantom 4 PRO.....	58
Tab. 6 – Caratteristiche della fotocamera sul DJI Mavic PRO.....	59
Tab. 7 – Caratteristiche della fotocamera sul DJI Spark	60
Tab. 8 – Calcolo GSD per Phantom 4 PRO.....	62
Tab. 9 – Calcolo GSD per Mavic PRO	62
Tab. 10 – Calcolo GSD per Spark.....	63
Tab. 11 – Errore totale Chunk 1 dal report di Photoscan	79
Tab. 12 – Errore totale Chunk 2 dal report di Photoscan	80
Tab. 13 – Errore totale Chunk 3 dal report di Photoscan	80
Tab. 14 – Legenda degli elementi.....	126

INTRODUZIONE

Per la frequenza dei terremoti che hanno storicamente interessato il suo territorio e per l'intensità che alcuni di essi hanno raggiunto, l'Italia risulta essere uno dei Paesi a maggior rischio sismico del Mediterraneo. La sismicità della Penisola italiana è legata alla sua particolare posizione geografica in quanto è situata nella zona di convergenza tra la zolla africana e quella eurasiatica ed è sottoposta a forti spinte compressive che causano l'accavallamento dei blocchi di roccia. Oltre a danni economici consistenti valutati per gli ultimi quarant'anni in circa 135 miliardi di euro impiegati per il ripristino e la ricostruzione post-evento, i terremoti che hanno colpito la penisola italiana hanno provocato gravi conseguenze, non traducibili in valore economico, sul patrimonio storico, artistico e monumentale¹.

Più di ogni altra cosa infatti, le radici e la storia di un territorio e della sua collettività si ritrovano nei luoghi del proprio vissuto e soprattutto si identificano nel patrimonio culturale che le appartiene. Sarà infatti più difficile per una società il ritrovarsi dopo un evento catastrofico se quel luogo avrà perso i segni del passato, se non avrà più quelle connotazioni che lo fanno sentire proprio e attorno alle quali la comunità potrà stringersi e trovare la forza per ripartire.

In un'epoca quindi caratterizzata da grandi ma soprattutto continui cambiamenti spesso impossibili da controllare dovuti a catastrofi naturali o talvolta antropiche, diventa fondamentale imparare a progettare o ridisegnare le organizzazioni, procedendo verso sistemi capaci di assorbire al meglio gli sconvolgimenti, di operare in una più ampia varietà di condizioni e di passare con più fluidità da una situazione all'altra. Emerge dunque uno dei concetti cardine di questo elaborato, ovvero quello della progettazione *resiliente*. Obiettivo principale dei professionisti di oggi infatti, è proprio quello di prendere coscienza delle necessità più sentite dalla committenza e dagli occupanti, riducendo il rischio di disastri, preservando e proteggendo il territorio di appartenenza in ordinario così come in emergenza e rafforzando di conseguenza la

¹ <http://www.protezionecivile-imbersago.com/rischio-sismico.html>

resilienza delle comunità a diverse tipologie di rischio al fine di pervenire a uno sviluppo sostenibile².

In questa tesi viene presentato un metodo sperimentale al fine di gestire, analizzare ed elaborare dati in formato digitale per l'ampliamento di un *database* già esistente per il patrimonio storico-artistico destinato a fornire un'infrastruttura unica alla Protezione Civile.

Nel primo capitolo viene affrontato il tema della *resilienza* del patrimonio culturale, ponendo particolare attenzione al concetto di *resilienza* stesso, analizzando i vari significati che il termine assume nei diversi contesti disciplinari. Si è cercato di approfondire l'importanza della progettazione *resiliente* in quanto ad oggi, la necessità di attuare strategie e misure per far fronte alle catastrofi naturali è sempre più urgente.

Nel secondo capitolo viene esaminato il *Progetto ResCult*, il quale mira a migliorare le capacità della Protezione Civile di prevenire o mitigare gli impatti dei disastri naturali sul patrimonio culturale mediante la realizzazione di un *Database Interoperabile Europeo Integrato*³.

Successivamente si passa all'inquadramento territoriale del caso studio, evidenziando le caratteristiche geologiche e morfologiche di Campi, un piccola frazione di Norcia in provincia di Perugia che in data 30 Ottobre 2016 è stato colpito da una forte scossa di terremoto di magnitudo 6.5, a due mesi dal violento sisma del 24 Agosto 2016.

Nel quarto capitolo ci si concentra sulle fasi di acquisizione dati *in situ* sulla base dell'esperienza fatta da alcuni operatori del dipartimento di Ingegneria dell'ambiente, del territorio e delle infrastrutture DIATI, recatisi sul posto nel Settembre 2018. In particolare, verranno illustrati i vari strumenti innovativi per il rilievo, la metodologia utilizzata e i passaggi per un'acquisizione corretta e funzionale.

² L'importanza della progettazione per la "resilienza", Il Giornale delle Fondazioni, 10/10/2016

³ <http://www.diati.polito.it/ricerca/progetti/schede/rescult>

Si entrerà poi nel vivo di questo elaborato andando a descrivere nel dettaglio le fasi di sviluppo dei dati e i risultati ottenuti. Ci si è posti come obiettivo quello di creare per l'intero paese di Campi un modello tridimensionale mettendo a confronto diversi metodi e utilizzando quello sembrato più veloce e completo tenendo conto di svariati fattori.

Si procede dunque con la realizzazione del *database* facendo particolare attenzione a evidenziare la logica utilizzata per la sua creazione.

Nell'ultimo capitolo, vengono riportate le conclusioni cercando di guardare con occhio critico al lavoro svolto mettendo in evidenza sia gli aspetti positivi che quelli negativi del metodo utilizzato e di suggerire eventuali cambiamenti o innovazioni che si potrebbero attuare in futuro.

CAPITOLO 1

Resilienza del patrimonio culturale

1.1 Il concetto di resilienza

Il termine *resilienza* deriva dal participio presente latino *resiliens – entis* del verbo *resilire* che significa propriamente *rimbalzare o saltare indietro*. L'uso comune del termine si riferisce alla capacità di un'entità di riprendersi da un evento inatteso, di essere *resistente alla rottura* affrontando e superando i vari inconvenienti che tenderanno a manifestarsi lungo il proprio ciclo di vita.

Una citazione esemplificativa e chiarificante per la comprensione del concetto di resilienza viene riportata da uno dei più grandi filosofi della cultura cinese, Confucio, il quale tentò di fornire delle indicazioni in merito a quale sia il modo migliore in cui l'uomo può portare avanti la sua esistenza facendo riferimento a tutti gli aspetti più importanti della natura umana: *la nostra gloria maggiore non consiste nel non sbagliare, ma nel risollevarsi ogni volta che cadiamo*⁴.

Per resilienza si intende quindi la capacità di un individuo o di un'organizzazione di far fronte al sopraggiungere di avversità con tenacia e astuzia, riparandosi dapprima dagli effetti potenzialmente distruttivi delle stesse e, successivamente, riorganizzando la propria vita sfruttandole, cogliendone le opportunità e traendone insegnamento. Partendo dalla definizione della disciplina psicologica, il concetto di resilienza è indissolubilmente legato alla capacità dell'uomo di riprendersi da eventi negativi che ne caratterizzano l'esistenza. La resilienza psicologica può essere quindi definita come la capacità di un individuo di adattarsi con successo alle attività quotidiane a fronte di una situazione di svantaggio sociale o di condizioni fortemente avverse quali problemi familiari o relazionali, problemi di salute o sul posto di lavoro. La resilienza è pertanto

⁴ Introduzione al concetto di Resilienza, Antonio Guadagno. Fonte: Seneta.it, Novembre 2018

presentata come la capacità di *rimbalzare* da un'esperienza negativa acquisendo un *competent functioning*, ovvero un bagaglio di competenze e comportamenti di base necessari per fronteggiare al meglio, se successivamente si manifestasse, un evento simile o identico⁵. Essere resilienti comunque, non concerne solo il saper opporsi alle pressioni dell'ambiente circostante ma implica anche una dinamica positiva, una capacità di *andare oltre* nonostante le difficoltà.

Il termine resilienza è stato introdotto nei primi decenni del XX secolo in un elevato numero di settori come la fisica, l'ecologia, la psicologia e la psichiatria⁶. Tuttavia, esso affonda le sue radici nel campo della metallurgia: nella tecnologia metallurgica, essa si definisce come la capacità di un metallo di resistere all'impatto di forze che a esso vengono applicate. Per un metallo, la resilienza rappresenta dunque il contrario della fragilità, così come da un punto di vista meramente psicologico la persona resiliente è l'opposto di una vulnerabile. Nelle scienze ecologiche la resilienza corrisponde alla capacità di un sistema di assorbire i cambiamenti o resistere alle perturbazioni e agli altri fattori di stress, riportandosi a uno stato di equilibrio. In particolare, quando la resilienza aumenta, un sistema socio-ecologico acquisisce una maggiore capacità di tollerare gli eventi di disturbo e, dunque, una minore possibilità di piombare in uno stato qualitativamente diverso caratterizzato da un diverso set di processi e da maggiore incertezza. La ridotta resilienza aumenta, invece, la vulnerabilità di un sistema a piccoli disturbi ai quali in precedenza si sarebbe potuto tranquillamente far fronte. In ambito ingegneristico, la resilienza viene definita come la capacità di un sistema di mantenere e riguadagnare uno stato di equilibrio dinamico, che ne permetta l'adeguato funzionamento dopo un incidente o in una situazione di stress continuativa. Essa viene vista quindi come la capacità intrinseca di un sistema di modificare il proprio funzionamento prima, durante e in seguito a un cambiamento o a una perturbazione, in modo tale da poter continuare le operazioni necessarie per il regolare andamento delle attività organizzative sia in condizioni previste che in condizioni impreviste.

Benché quindi il concetto di resilienza sia utilizzato in contesti disciplinari diversi e con riguardo a svariati tipi di processi, esiste comunque un'idea comune: tale concetto

⁵ Resilienza organizzativa: aspetti concettuali ed implicazioni manageriali. Giuseppe Mattia Lemetre, 2018

⁶ Resilienza come concetto generale e in età evolutiva, appunti di Psicologia

si riferisce a un processo attivo di autoriparazione o autorigenerazione e di sviluppo, messo in atto come risposta a una situazione di crisi. Se tale crisi deriva da un evento catastrofico, la resilienza è la capacità di fronteggiare i traumi e le perturbazioni connesse alle sue conseguenze e di mettere in atto un comportamento adattivo adeguato a mettere in atto i necessari cambiamenti per preservare innanzitutto la propria identità e, successivamente, per riprendere un percorso di sviluppo soddisfacente⁷. Tale definizione può essere applicata a vari livelli, ricevendo per ciascuno di essi ulteriori specificazioni. Infatti, col termine resilienza è possibile indicare la capacità di resistere e di reagire di fronte alle difficoltà sia per quanto riguarda il singolo individuo che intere comunità messe alla prova, per esempio, da catastrofi naturali, guerre, attacchi terroristici. In particolare, quindi, la resilienza può essere proposta al livello dei singoli individui, dei gruppi primari in primo luogo delle famiglie, delle singole comunità.

1.2 La resilienza a livello comunitario

Nel caso specifico, il livello che interessa mettere in luce è soprattutto quello comunitario, ovvero di un sistema sociale locale. A questa scala, la resilienza dipende da un complesso di condizioni sociali, politiche, economiche, ambientali. Dunque, la resilienza va intesa come una funzione psichica che si modifica nel tempo in rapporto all'esperienza, al vissuto e al modificarsi degli stessi meccanismi mentali che la sottendono. Non si tratta quindi di una caratteristica che può o non può essere presente in un individuo, bensì una capacità o un'attitudine che può essere appresa e coltivata. La resilienza deve pertanto essere considerata come una *competenza* presente in ogni individuo o organizzazione che permette di non soccombere a eventi avversi, bensì di reagire e giungere, o ritornare, a uno stato di equilibrio.

Ad oggi, la necessità di attuare strategie e misure per far fronte alle catastrofi legate al clima e aumentare la resilienza è sempre più urgente e per questo al giorno d'oggi la resilienza è uno dei maggiori argomenti trattati dagli studiosi. Questa crescita d'interesse è stata stimolata da diversi fattori e, senza dubbio, dalla successione di

⁷ Emergenza e ricostruzione dopo il terremoto: la resilienza comunitaria e gli interventi di sostegno, A. Mela, Viella 2010

grandi disastri naturali e ambientali che hanno afflitto le comunità locali in diverse parti del mondo.

In un'epoca caratterizzata da grandi ma soprattutto continui cambiamenti spesso impossibili da controllare, diventa fondamentale imparare a progettare o ridisegnare le organizzazioni procedendo verso sistemi capaci di assorbire al meglio gli sconvolgimenti, di operare in una più ampia varietà di condizioni e di passare con più fluidità da una situazione a un'altra. La necessità di attuare strategie e misure per far fronte alle catastrofi legate al clima e aumentare la resilienza è sempre più urgente.

1.2.1 Progettazione resiliente

Obiettivo principale della progettazione odierna risulta essere quello di prendere coscienza delle necessità più sentite dalla committenza e dagli occupanti, riducendo il rischio di disastri e rafforzando di conseguenza la resilienza delle comunità a diverse tipologie di rischio al fine di pervenire a uno sviluppo sostenibile. Il raggiungimento di questa finalità prevede lo sforzo sistematico per ridurre quei fattori che nelle nostre società amplificano l'impatto degli eventi estremi. La riduzione del rischio comprende le attività di preparazione e risposta ai disastri, i sistemi di allarme rapido, la costruzione di infrastrutture più resistenti, lo sviluppo di nuovi strumenti.

Negli ultimi tempi inoltre la resilienza è spesso inserita nell'ampio dibattito sulla sostenibilità ambientale, dove viene riconosciuta come una componente chiave dei sistemi urbani per far fronte ai rischi ambientali e un'abilità collettiva di adattamento necessaria per uno sviluppo sostenibile. Questa è la visione che accomuna anche diverse organizzazioni e istituzioni che operano su diversa scala e che fanno della resilienza un obiettivo di policy da perseguire.

Gli stravolgimenti climatici che affliggono il pianeta rendono necessaria, in particolare, un'analisi dell'adattamento del territorio e delle infrastrutture ai cambiamenti climatici. Gli eventi estremi che avvengono con sempre maggiore frequenza, in conseguenza del mutamento delle condizioni atmosferiche, incidono non poco sulle caratteristiche di un'area. In particolare, nei sistemi antropici, caratterizzati da notevole complessità e dalla compresenza di numerose strutture, infrastrutture e di popolazioni vulnerabili, le azioni di adattamento al clima cercano di limitare i danni e di aumentare la capacità dei sistemi di fare fronte più efficacemente a tali eventi, sia

dal punto di vista della prevenzione del danno, sia da quello del ripristino del proprio funzionamento.

Un passaggio fondamentale al fine di ridurre al minimo, o quanto meno lenire, l'impatto di una catastrofe naturale su un sistema, è stato compiuto nel gennaio 2005 con l'adozione di quadro d'azione Hyogo 2005-2015 (HFA): esso mirava a promuovere un'efficace integrazione tra politiche di sviluppo sostenibile, pianificazione e programmazione a tutti i livelli per la corretta valutazione del rischio, descrivendo un approccio strategico e sistematico per ridurre le vulnerabilità e il rischio di catastrofi naturali. Successivamente fu adottato il Sendai *framework* per la riduzione dei rischi di disastro 2015-2030: approvato dall'Assemblea Generale delle Nazioni Unite nel giugno 2015. Il Sendai *framework* è un accordo non vincolante di quindici anni che riconosce allo Stato il ruolo primario di ridurre il rischio di catastrofi, ma al contempo stabilisce come tale responsabilità debba essere condivisa con altre parti interessate, tra cui il governo locale e il settore privato, mirando alla sostanziale riduzione del rischio legato all'avvento di catastrofi e alla perdita di vite umane, dei mezzi di sussistenza e di beni economici, fisici, sociali, culturali e ambientali delle persone, delle imprese, delle comunità e dei paesi.

1.3 La resilienza in ambito urbanistico

Da una decina di anni, il termine resilienza è entrato a far parte del lessico comune degli urbanisti che trovano proprio nella capacità di continuare a esistere, incorporando il cambiamento, uno dei principali indicatori per segnare la ripresa di una comunità toccata da stravolgimenti significativi. La resilienza urbana prevede il passaggio dal modello di mera riqualificazione a un modello di rigenerazione urbana che rende attivamente complice la collettività, attento all'ambiente e al consumo delle risorse, diretto a ridurre l'impatto dell'attività umana.

Finché si tratta di resilienza applicata a un persona, risulta abbastanza facile identificare cosa si intende o a cosa ci si riferisce. Più complesso è invece immaginare il concetto di resilienza associato a una città. Una città resiliente è un sistema urbano che non si limita ad adeguarsi ai cambiamenti in atto, di fronte ai quali le città si stanno dimostrando sempre più vulnerabili, ma è una comunità che si modifica progettando

risposte sociali, economiche e ambientali innovative che le permettano di resistere nel lungo periodo alle sollecitazioni dell'ambiente e della storia⁸.

1.3.1 Rotterdam: un esempio di città resiliente

Uno dei casi più chiari che facilita la comprensione della città resiliente è quello di Rotterdam. La città portuale di Rotterdam, situata a valle del fiume Maas nei Paesi Bassi, è sede del più grande porto internazionale d'Europa. La maggior parte della città è costruita sotto il livello del mare ed è quindi uno dei centri più a rischio alluvione. Attraverso varie iniziative, in particolare tramite il *Rotterdam Climate Initiative*, la città mira a diventare sempre più *smart* adottando un programma per diventare la capitale mondiale con il più basso indice di emissioni di CO₂. Punto centrale del programma per raggiungere entro il 2025 tale obiettivo, è quello di adattare la città ai cambiamenti climatici in atto⁹. Le iniziative principali in atto sono tutte incentrate sul concetto della resilienza e prevedono:

- la costruzione di interi quartieri urbani galleggianti;
- la realizzazione di un sistema di *piazze d'acqua* come soluzione per trattenerne l'acqua in eccesso e diminuire la pressione sul sistema fognario;
- la previsione di un sistema di stoccaggio e raccolta delle acque piovane attraverso tetti e altre superfici impermeabili che vengono pulite e immagazzinate in modo da avere una riserva pronta in caso di lunghi periodi di siccità;
- la realizzazione di edifici a *tetti verdi*, importantissimi per aumentare l'assorbimento di CO₂ e il contenimento dell'acqua piovana in eccesso;
- la messa a disposizione di 80 ettari di terreno intorno al porto in modo da permettere alle aziende di realizzare fabbriche in grado di produrre energia attraverso fonti rinnovabili.

⁸ Organizzare e comunicare l'emergenza nella PA, S. M. Cianciotta, Maggioli Editore, Luglio 2015

⁹ Smart City, l'esempio di Rotterdam città resiliente. Fonte: greenMe.it, Novembre 2013

1.3.2 Il progetto BlueAp per Bologna

Un altro esempio di città resiliente è quello di Bologna che negli ultimi anni ha particolarmente risentito dei cambiamenti ambientali, soprattutto a livello climatico, che hanno interessato il nostro pianeta. Il comune di Bologna ha voluto, attraverso il progetto *BlueAp, Bologna local urban environment Adaptation plan for a resilient city*, predisporre un Piano di adattamento locale al cambiamento climatico sperimentando alcune *azioni pilota* efficaci e concrete da realizzare sul territorio bolognese al fine di rendere la città più resiliente¹⁰. Con questo progetto, Bologna è una delle prime città in Italia a dotarsi di strumenti necessari per affrontare la sfida del riscaldamento globale. In particolare, il progetto *BlueAp* consiste nel:

- realizzare un sistema informativo innovativo che metta in relazione i dati ambientali e sociali al fine di produrre informazioni maggiori sui rischi ambientali e sulle strategie per affrontarli;
- accrescere la consapevolezza delle autorità locali sui rischi connessi ai cambiamenti climatici;
- offrire agli *stakeholders* un supporto tecnico e formativo per poter mettere in pratica alcune delle azioni definite nel Piano di Adattamento;
- controllare e valutare la sostenibilità delle azioni attuate e i risultati ottenuti;
- condividere le linee guida del progetto per permettere ad altre comunità di utilizzare i modelli sviluppati¹¹.

1.4 La resilienza del Patrimonio Culturale

In ambito edilizio, l'incremento della resilienza del patrimonio edificato viene messo in evidenza nella gestione del rischio antropico e naturale, con particolare attenzione alla riduzione della vulnerabilità sismica delle strutture esistenti, soprattutto di quelle a carattere storico-culturale. Nel caso specifico del patrimonio costruito storico e della sua valorizzazione sostenibile, il concetto di resilienza viene inteso come una trasformazione tollerabile che un sistema edilizio esistente può subire senza

¹⁰ <http://www.blueap.eu/site/>

¹¹ Resilienza tra territorio e comunità. Approcci, strategie, temi e casi. A. Colucci, P. Cottino. Collana "Quaderni dell'Osservatorio" n. 21, 2015

comportare alcuna modificazione indesiderata. È necessario quindi che l'edificio in sé sia predisposto ad accogliere i cambiamenti derivanti da nuovi usi, o da aggiornamenti prestazionali su funzioni precedenti, rispettando comunque le valenze storiche del bene stesso e conservando la sua riconoscibilità. Il concetto di resilienza così inteso risulta dunque legato a quello del riuso sostenibile del patrimonio storico e, più in generale, con quello della valorizzazione.

Il Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio mette in relazione il tema della valorizzazione con quello della conservazione. Infatti, sostenendo che *la valorizzazione è attuata in forme compatibili con la tutela e tali da non pregiudicarne le esigenze*¹², il Codice individua il limite di intervento sull'esistente rendendo le strategie di valorizzazione strettamente correlate con le esigenze di conservazione.

Per questo motivo, prima di intervenire sul costruito, si cerca di analizzarlo in riferimento al contesto ambientale, non solo fisico ma anche culturale e sociale, la conoscenza del fabbricato, evidenziandone prestazioni e funzionalità, e le esigenze dell'utenza¹³.

1.4.1 Heracles per la resilienza del patrimonio Culturale

Il progetto europeo *Heracles, Heritage resilience against climate events on site*, ha come obiettivo quello di studiare delle soluzioni eco-innovative per aumentare la resilienza del Patrimonio Culturale nei confronti dei danneggiamenti dovuti a cambiamenti climatici. Questi ultimi producono eventi disastrosi che hanno un importante impatto negativo sul territorio e risultano molto più amplificati sul patrimonio culturale, già di per sé molto fragile. Le tecniche avanzate di intervento che vengono utilizzate su edifici moderni, non sempre possono essere applicate al Patrimonio Culturale in quanto, in questo caso, è di particolare importanza conservare anche il bene artistico. Pertanto, per preservare edifici e manufatti di valore storico-artistico, è necessario utilizzare delle metodologie dedicate. *Heracles* propone un approccio olistico, multidisciplinare e multisettoriale con l'obiettivo sviluppare

¹² Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio, D. Lgs. 22.1.2014, n. 42 e succ. mm. e int., art. 6, c.2

¹³ Resilienza e sostenibilità per il riuso del patrimonio costruito. D. Besana, A. Greco, M. Morandotti, 2018

soluzioni efficaci per la conservazione e il restauro del Patrimonio Culturale¹⁴. Tre sono i casi studio presi in esame:

- Gubbio, in Italia, dove verranno monitorati i rischi di dissesto idrogeologico che minacciano gli edifici e le antiche mura del paese;
- Creta e il Palazzo di Cnosso;
- Creta e il porto di Heraklion, il quale presenta numerosi affreschi esposti alle precipitazioni ultimamente sempre più intense.

¹⁴ www.heracles-project.eu/

CAPITOLO 2

ResCult

2.1 Il progetto ResCult

Il progetto ResCult è un progetto di collaborazione internazionale, finanziato dall'Unione Europea, che ha come finalità principale la resilienza del Patrimonio Culturale. Esso nasce dall'esigenza di salvaguardare il nostro patrimonio storico-artistico e si pone come obiettivo quello di creare un EID, ovvero un *Database Interoperabile Integrato Europeo*, che possa essere uno strumento di supporto unico alla Protezione Civile, ai Vigili del Fuoco, ai Ministeri dei Beni Culturali, alle autorità di ogni genere, e a coloro che direttamente intervengono in caso di emergenza.

Non solo il programma ResCult si pone come obiettivo quello di creare un modello concettuale che metta insieme gli standard già presenti a livello europeo, utilizzabile da chiunque in maniera semplice e immediata, ma cerca anche di trovare un modo per rappresentare dettagliatamente, e quindi valorizzare, la ricchezza e la complessità del Patrimonio Culturale. Esso mette infatti in evidenza anche i rischi cui il Patrimonio Culturale è soggetto e propone eventuali soluzioni per ridurre le perdite, salvare i beni culturali e migliorare la gestione dei disastri.

Una delle caratteristiche principali di questo progetto l'utilizzo di *software Open Source*, ovvero *software* accessibili a tutti tenendo conto quindi anche dell'importanza della collettività e delle comunità.

Il progetto ResCult si basa sui principi dei *Sendai Framework* per la *Riduzione del Rischio di Disastri 2015-2030*, adottato a Sendai nel Marzo 2015 durante la Terza Conferenza Mondiale delle Nazioni Unite. Il Quadro di Riferimento di Sendai è lo strumento che succede al Quadro d'Azione di Hyogo HFA 2005-2015: *Costruire la Resilienza delle Nazioni e delle Comunità alle Catastrofi*, concepito per dare

un'ulteriore impulso al lavoro complessivo nell'ambito della riduzione dei disastri naturali per un mondo più sicuro¹⁵. Il *Sendai Framework* ha introdotto numerosi cambiamenti significativi su quella che è la gestione delle catastrofi, siano esse naturali che antropiche, spostando l'attenzione della gestione delle stesse alla gestione del *rischio* di catastrofi. Il Quadro di Riferimento di Sendai si pone quindi come obiettivo quello di migliorare la comprensione del rischio di disastri in tutte le sue dimensioni, prevenendo nuove forme di rischio, riducendo rischi esistenti e aumentando la resilienza delle infrastrutture sanitarie, dei beni culturali e dei luoghi di lavoro. Si può affermare che esistono numerosi riferimenti e modelli di dati già riconosciuti cui appoggiarsi per la realizzazione di un *database*, ma la difficoltà sta nell'ottenere un modello completo in grado di contenere al suo interno tutte le informazioni utili per effettuare le analisi prefissate e di essere accessibile da più sorgenti.

2.2 Definizione e modelli di Database

Un *database* può essere definito come un archivio elettronico di dati logicamente strutturati, connessi, memorizzati e organizzati in modo da poter essere facilmente, rapidamente e selettivamente rintracciabili uno per uno, oppure per gruppi determinanti, mediante appositi programmi di gestione e di ricerca¹⁶. L'idea di sistemi di *database* elettronici, già presente negli anni Sessanta, è stata una delle innovazioni più importanti nello sviluppo del computer e si diffuse molto rapidamente. Nel corso degli anni si sono sviluppati vari tipi di modelli logici che possono essere ricondotti a tre categorie principali: gerarchici, reticolari e relazionali.

2.2.1 Il modello gerarchico

La struttura che caratterizza il modello gerarchico è quella *ad albero* (figura 1) che si basa sulla possibilità di individuare un segmento principale, definito *padre*, dal quale dipendono altri n segmenti che vengono chiamati *figli*.

¹⁵ Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030, United Nations

¹⁶ Vocabolario Treccani online. Fonte: www.treccani.it

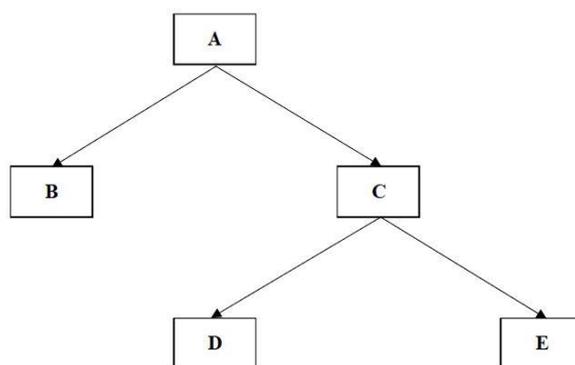


Fig. 1 – Modello gerarchico

In questa tipologia di *database* vi sono dipendenze molto nette, infatti ogni *figlio* può avere uno e un solo *padre* e ogni *padre* può avere un numero a piacere di *figli*. A causa di questo rigoroso ordine gerarchico, i livelli che non sono direttamente adiacenti tra loro non hanno la possibilità di interagire ed è difficile anche la connessione tra due diversi *alberi*.

2.2.2 Il modello reticolare

Il modello gerarchico rimane soltanto una prima soluzione al problema della gestione di una grande quantità di dati in quanto la sua struttura estremamente rigida, anche se molto chiara, ne limita le potenzialità. Nasce dunque il modello reticolare il quale, per le sue caratteristiche è in grado di adattarsi a contesti più complessi. Esso può essere visto come un'estensione del modello gerarchico in quanto si basa sugli stessi principi ma apporta importanti miglioramenti. Se infatti nella struttura gerarchica un segmento *figlio* può avere uno e un solo segmento *padre*, nel modello reticolare ogni *record* può avere un numero qualsiasi di *record* subordinati e di *record* precedenti. Inoltre, le relazioni tra *record* vengono espresse attraverso i cosiddetti *member*, ovvero dei *record* di collegamento che formano delle catene tra le varie parti del sistema. Si deduce quindi che le strutture utilizzate nel modello reticolare sono due: la prima, quella dei *record* che rappresentano i file, e la seconda, il *set* che permette di collegare i *record* tra loro per mezzo di catene di puntatori. Si riporta in figura 2 un esempio di modello di *database* reticolare.

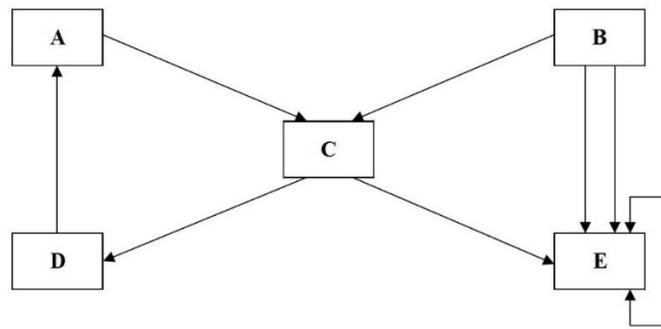


Fig. 2 – Modello Reticolare

2.2.3 Il modello relazionale

Il modello relazionale fu introdotto per la prima volta nel 1970 e, a differenza dei precedenti, risulta particolarmente utilizzato in ambito lavorativo grazie alla sua semplicità e alla sua flessibilità. Esso si basa sul concetto di *relazione*. Le relazioni possono essere rappresentate graficamente sotto forma tabellare in cui sono presenti righe, definite *record* e colonne, definite *campi*. Ogni tabella è indipendente dalle altre e le relazioni tra tabelle sono costituite dalla presenza di campi comuni. Le tabelle di un *database* relazionale organizzano le informazioni raggruppandole in *entità*. Ogni *entità* viene identificata da un numero preciso di caratteristiche, ovvero di *attributi*, contraddistinte da un nome e da un valore¹⁷.

Sebbene gli sviluppi tecnologici abbiano ottimizzato le prestazioni dei sistemi relazionali, questi risultano poco adatti a rappresentare informazioni complesse. Nasce infatti l'esigenza di gestire operazioni articolate al fine di trattare realtà costituite da oggetti complessi, come ad esempio i sistemi *CAD* (*Computer Aided Design*), difficilmente modellabili con il paradigma del modello relazionale. Per ovviare quindi alle limitazioni di questi sistemi in termini di potenza e rappresentazione dei dati, una possibile soluzione è quella di un *database* orientato agli oggetti.

2.2.4 Il modello orientato agli oggetti

Un *OODMS*, *Object Oriented Database Management System*, è un sistema che offre la possibilità di rendere persistenti i dati che gestisce, fornendo funzionalità di

¹⁷ Dispensa di informatica sul database e sul DBMS. Fonte: studiamo.it

accesso universali. In questa tipologia di banca dati, le informazioni vengono memorizzate sotto forma di *oggetti*. Gli oggetti sono entità elementari che vengono definite attraverso lo stato, il comportamento e l'identificativo. Lo stato è rappresentato dai valori degli attributi dell'oggetto, la cui modifica viene eseguita tramite dei metodi che ne definiscono il comportamento e ogni oggetto può essere distinto in modo univoco da tutti gli altri tramite un OID, *Object Identifier*.

Con il termine di *istanziamento* viene indicata l'operazione di creazione dell'oggetto. Gli oggetti vengono memorizzati all'interno della memoria di sistema e viene di conseguenza creato il riferimento all'oggetto, OID. Ogni oggetto ha una *classe* che ne definisce i dati e il comportamento¹⁸. La classe è un particolare tipo di dato che definisce la struttura dell'oggetto in sé e il meccanismo con il quale questo può essere costruito. Ogni classe si compone di:

- *attributi*, variabili che racchiudono i dati associati alla classe e agli oggetti che ne fanno parte, con l'obiettivo di memorizzarli;
- *metodi*, che contengono il codice eseguibile dalla classe;
- *classi*, che possono essere a loro volta membri di un'altra classe o interfaccia.

Sebbene, come mostrato in figura 3, il modello di *database* orientato agli oggetti ha una struttura simile a quella gerarchica, la differenza sostanziale tra le due tipologie risiede nel fatto che nel caso dell'OODBMS non ci sono relazioni fisse sul modello *padre-figlio* ma vengono definiti dei *metodi* che permettono l'accesso agli oggetti utilizzando le classi di oggetti.

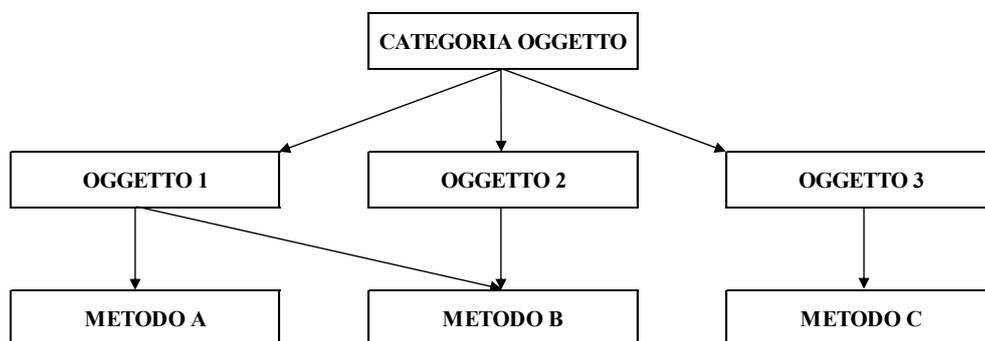


Fig. 3 – Modello di database orientato agli oggetti

¹⁸ Concetti del modello relazionale ad oggetti, Sabrina Zardo, 2004

2.3 La progettazione dell'EID di ResCult

Uno degli aspetti fondamentali nella scelta del modello di dati che potesse al meglio rappresentare l'EID, è stato quello di orientarsi verso un qualcosa facile da comprendere e da utilizzare poiché un *database* non è altro che la schematizzazione della realtà percepita dall'essere umano tradotta in un formato comprensibile per un computer. A tal proposito, le fasi di modellazione del *database* hanno fatto riferimento alle linee guida di Robert Laurini e Derek Thompson riportate nel manuale *Foundamentals of Spatial Information Systems*, secondo le quali una banca dati è organizzata in:

- *un modello esterno*, nel quale il linguaggio comune viene tradotto in modo tale da esser reso comprensibile e concorde per la progettazione del *database*;
- *un modello concettuale*, in cui il modello esterno viene formalizzato e graficizzato costruendo uno schema definito più propriamente *modello entità-relazioni*;
- *un modello logico*, il quale si configura come una rappresentazione dei dati in formato compatibile con il *software* da utilizzare, comprensibile dall'operatore;
- *un modello interno*, conosciuto anche come *modello fisico*, all'interno del quale viene descritto il *software* utilizzato e le sue applicazioni in un linguaggio chiaro e conciso.

È chiaro che il modello concettuale rappresenta il vero punto di partenza per la realizzazione di una banca dati in quanto è proprio in questo che vengono definite le entità da gestire, i loro attributi e le relazioni che intercorrono tra esse.

In realtà giungere a un modello completo ed efficace non è facile, infatti, anche i sistemi apparentemente più semplici tendono a raggiungere un notevole grado di complessità. Proprio per questo motivo, spesso per modellare un *database* vengono utilizzate alcune notazioni standardizzate che facilitano il processo di stesura del progetto, ed è opportuno specificare che in questo si è fatto riferimento all'*Unified Modelling Language (UML)*. UML rappresenta la sintesi di vari approcci metodologici fusi in un unico sistema e non è altro che un linguaggio di modellazione visuale che fornisce le primitive a cui ricondurre la realtà in esame e permette di esprimere le entità

che compongono un sistema complesso, le loro caratteristiche e le relazioni che le collegano¹⁹. Per raggiungere gli obiettivi di interoperabilità quindi, l'EID RESCULT si è basato su modelli di dati esistenti aggiungendo significative estensioni e integrazioni al fine di ottenere un *database* conforme agli standard già definiti ma allo stesso tempo innovativo.

2.3.1 I modelli INSPIRE e CityGML

Concepita la struttura della banca dati, è stato necessario trovare una soluzione concreta per rappresentare in maniera chiara e univoca il patrimonio culturale e le caratteristiche del territorio cui esso appartiene. A tal proposito, si è fatto riferimento a modelli di dati standard già affermati in ambito cartografico, quali INSPIRE e CityGML. Il modello INSPIRE, *Infrastructure for Spatial Information in Europe*, è un progetto della Commissione Europea per la realizzazione di infrastrutture di dati territoriali che siano interoperabili all'interno della Comunità Europea²⁰. Obiettivo della Direttiva è quello agevolare la ricerca dei dati spaziali attraverso il *web*, andando a garantire infrastrutture compatibili e utilizzabili in qualsiasi contesto²¹.

CityGML invece, è di particolare importanza per la rappresentazione di modelli urbani tridimensionali e si distingue da altri formati in quanto non solo fornisce un modello della città standard descritta da oggetti tridimensionali di cui vengono specificate geometrie e altre caratteristiche, ma mette anche in evidenza le relazioni tra i vari oggetti, raggruppati gerarchicamente, e le proprietà spaziali. A differenza di altri GIS, *Geographic Information System*, GML fornisce infatti geometrie e coordinate di un oggetto che ne permettono la rappresentazione georeferenziata²².

La differenza sostanziale tra questi due modelli di dati risiede nel livello di dettaglio ed è per questo motivo che il *database* di ResCult adotta il modello INSPIRE come standard, in quanto gode di un livello di dettaglio inferiore ma si propone di implementare la banca dati secondo il modello proposto da CityGML, che invece ha

¹⁹ Introduzione a UML. Laboratorio di Sistemi e Processi Organizzativi. G. P. Favini, 2007

²⁰ <https://inspire.ec.europa.eu/>

²¹ La Direttiva INSPIRE. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Fonte: insprambiente.gov.it

²² Rappresentazione di modelli urbani CityGML su un globo virtuale, A. Florio, 2012

un livello di dettaglio superiore soprattutto per quanto riguarda la rappresentazione di oggetti urbani.

2.3.2 La struttura dell'EID di ResCult

La rappresentazione delle entità nell'EID di ResCult si basa sul concetto di *Levels of Details, LoD*. Il livello di dettaglio cresce durante la progettazione fino a permettere la creazione di un minuzioso modello operativo. Poiché a uno stesso oggetto possono essere associate diverse geometrie, sulla base degli standard imposti dal CityGML, a seconda dell'accuratezza delle caratteristiche riprodotte e della scala di rappresentazione, possono essere definiti cinque diversi livelli di dettaglio (tabella 1).

	LoD 1	LoD 2	LoD 3	LoD 4
Model scale description	City, region	City district	Architectural models (outside), landmark	Architectural model (interior)
Class of accuracy	Low	Middle	High	Very high
Accuracy of position and height	5 m	2 m	0.5 m	0.2 m
Approximate representation scale	1:25000 - 1:10000	1:10000 - 1:5000	1:2500 - 1:1000	1:1000 - 1:1500
Generalization	Object blocks as generalized features > 6x6 m	Object blocks as generalized features > 4x4 m	Object as real features > 2x2 m	Constructive elements and openings are represented
Building installation	-	-	Representative exterior effects	Real object form
Roof form/structure	Flat	Roof type and orientation	Real object form	Real object form

Tab. 1 – Caratteristiche dei Livelli di Dettaglio

Il primo livello è il LoD_0, nel quale la realtà viene raffigurata in modo bidimensionale, in riferimento a un *Digital Terrain Model*. In questa categoria si riportano aspetti relativi all'ambiente che si vuole rappresentare a grande scala, come l'idrografia o i trasporti. Inoltre, possono essere rappresentate anche le planimetrie degli edifici oggetto di studio. I livelli di dettaglio successivi associano a ciascun

elemento caratteristiche sempre più specifiche fino ad arrivare al Lod_4 il quale prevede anche la rappresentazione degli interni degli edifici stessi²³ (figura 4).



Fig. 4 – Rappresentazione grafica dei Livelli di Dettaglio

In questo elaborato ci si è soffermati sulla rappresentazione cartografica urbana, e per questo motivo ci si è spinti fino alla raffigurazione di un livello di dettaglio due, come verrà spiegato nel Capitolo 6.

Negli Allegati 1, 2 e 3 vengono riportati i modelli Concettuale e Logico su cui si basa la struttura dell'Eid di ResCult. In particolare, nel Modello Logico è possibile osservare che il cuore del *database* è il *ProtectedSite* (figura 5), cui vengono collegate due parti distinte che sono quella relativa agli edifici e agli oggetti cartografici (figura 6) e quella relativa al pericolo e al rischio (figura 7).

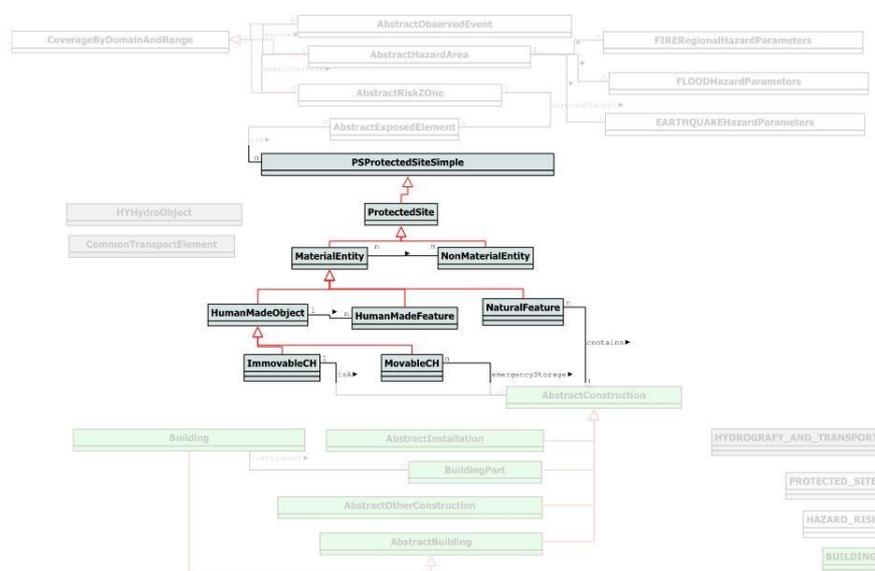


Fig. 5 – Il cuore del database di ResCult

²³ Deliverable D 2.1: European Interoperable Database (EID) conceptual model (first release). A cura di: F. Chirabrando, E. Colucci, P. Dabove, F. Matrone, M. Kamelifar, A. Lingua, F. Noardo, A. Spanò, 2017

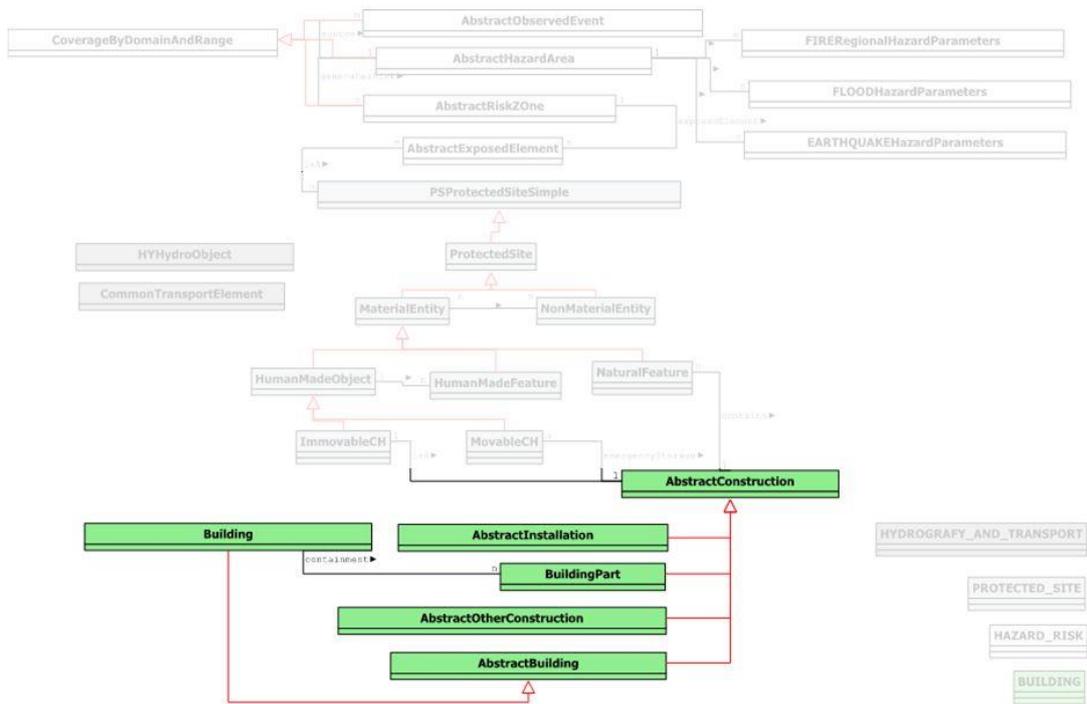


Fig. 6 – Building

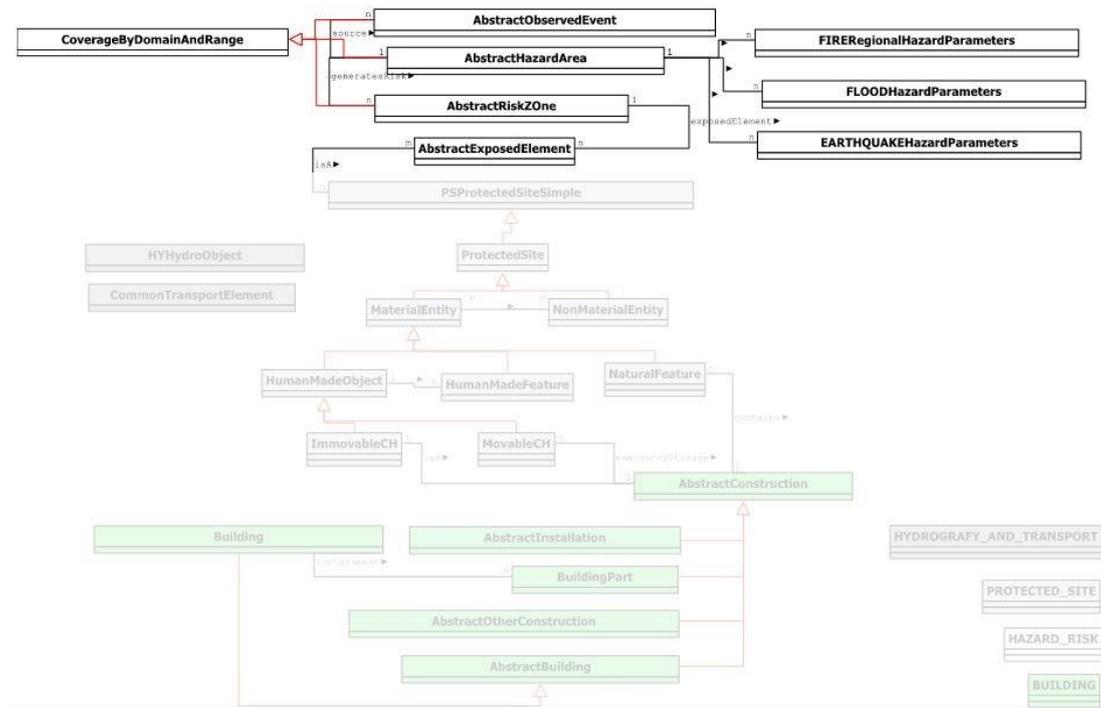


Fig. 7 – Hazard and Risk

Sono state poi inserite delle ulteriori estensioni: idrografia e trasporti (figura 8).

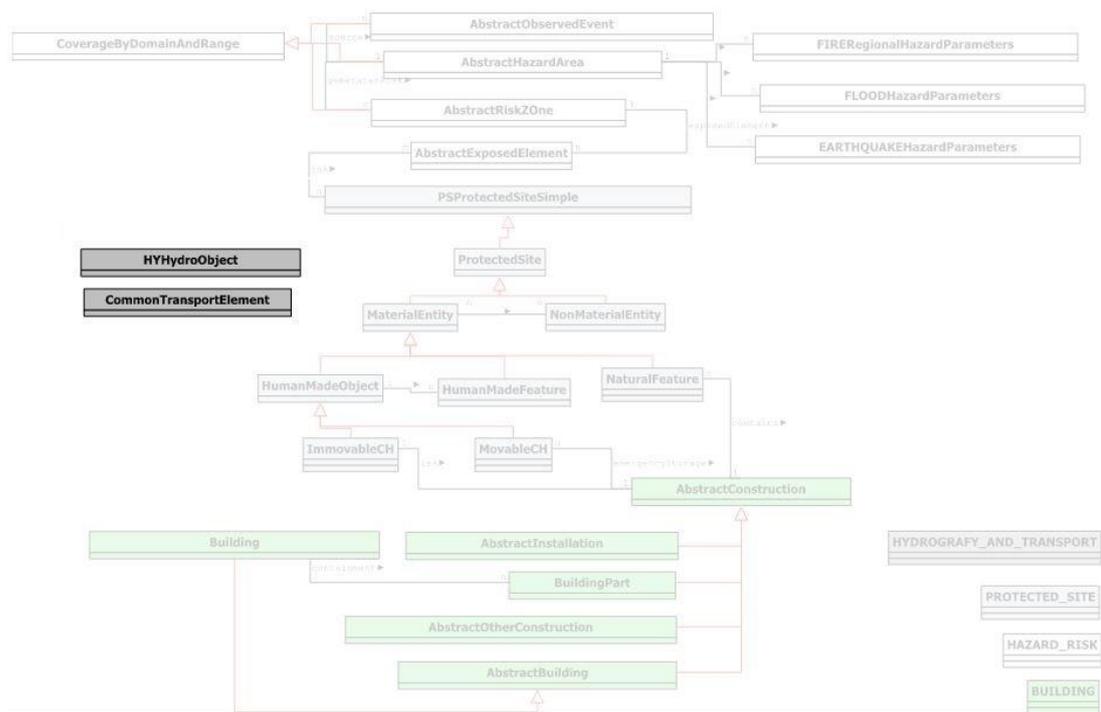


Fig. 8 – Hydro object and Common Transport Element

Il Modello Logico presenta tabelle di colori differenti in base a ciò cui si riferiscono. In particolare, le tabelle di colore bianco sono le tabelle principali, quelle di colore grigio contengono al loro interno gli attributi relativi alle diverse entità, le tabelle di colore verde racchiudono le geometrie degli oggetti e infine quelle di colore giallo includono i dati *raster*.

CAPITOLO 3

Campi

3.1 Inquadramento territoriale

In questo elaborato ci si pone come obiettivo quello di realizzare il modello tridimensionale di un centro abitato di ridotte dimensioni situato in Umbria. Nello specifico ci si riferisce a Campi (figura 9), un piccolo borgo medievale a 711 metri s.l.m., che si suddivide in due zone distinte: la parte bassa lungo la strada principale, e la parte alta più a monte oggetto dello studio, detta anche *Castello di Campi*. A pochi chilometri da Norcia e da Preci, il paese si sviluppa su di un sinclinale preappenninico di fronte alla catena del Parco Nazionale dei Monti Sibillini ed è immerso nell'ampia distesa della valle Castoriana²⁴.



Fig. 9 – Campi Alto di Norcia (PG)

²⁴ [https://it.wikipedia.org/wiki/Campi_\(Norcia\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Campi_(Norcia))

3.1.1 I Monti Sibillini e il Parco Nazionale

I Monti Sibillini sono una catena montuosa situata a cavallo tra Marche e Umbria, lungo il crinale primario dell'Appennino centrale (figura 10).

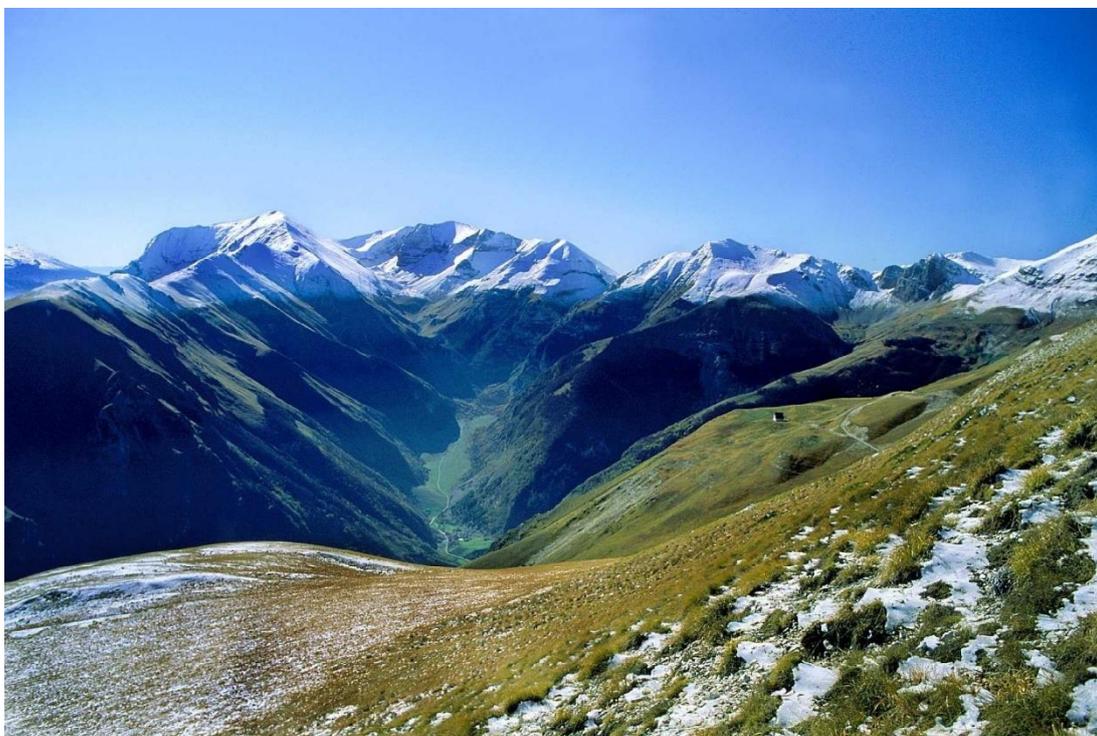


Fig. 10 – Monti Sibillini

Composto prevalentemente da rocce calcaree e calcareo-marmose del Mesozoico-basso Terziario, il gruppo dei Sibillini può essere considerato come una formazione geologica relativamente giovane. Circa cento milioni di anni fa, l'area marina di basso fondale che occupava l'attuale areale dei Monti Sibillini fu sede di ampi movimenti distensivi che hanno portato alla nascita di dorsali sottomarine. Nel corso degli anni, importanti fenomeni tellurici hanno portato ad accavallamenti lungo le faglie, con la formazione delle maggiori vette presenti ancora oggi. Successivamente, un'altra serie di movimenti sismici per la compressione dal lato adriatico ha portato a fenomeni di sovrascorrimento e accavallamento su altri sistemi di faglia e conferito al gruppo il suo aspetto odierno²⁵.

²⁵ https://it.wikivoyage.org/wiki/Monti_Sibillini

La catena montuosa dei Sibillini si estende per circa trenta chilometri con disposizione nord-sud. Il limite meridionale è dato dalla valle del Tronto, che separa nettamente i Sibillini dal gruppo montuoso meridionale della Laga e dalla congiungente con Forca Canapine, che pone il limite con i monti Reatini. A nord il limite è segnato dalla valle del Chienti, del Fiastrone e con le propaggini montuose della punta del Ragnolo e del pizzo di Chioggia. La vetta più alta della catena è il monte Vettore (figura 11).



Fig. 11 – Monte Vettore, 2476 metri s.l.m.

Dalla dorsale principale, che costituisce lo spartiacque tra i versanti tirrenico e adriatico, scendono numerose valli attraversate da fiumi e torrenti, tra cui il Rio Sacro, il Fiastrone, l'Ambro, il Tenna, l'Aso e il Fulvione nel versante adriatico, e il Nera e l'Ussita in quello tirrenico²⁶.

I Monti Sibillini sono abitati sin dalla preistoria e trovano nel mito della Sibilla, da cui prendono il nome, l'aspetto storico più originale e interessante. La curiosità attorno a questa figura femminile leggendaria, a cui ci si rivolgeva per conoscere gli accadimenti futuri e i segreti del passato, trova molti riscontri storici e letterari, come ad esempio il romanzo cavalleresco di Andrea da Barberino, *Il Guerin Meschino* del 1410. La storia dei Monti sibillini si rivive oggi nei suoi splendidi borghi medioevali, tra cui Visso, Castelsantangelo sul Nera, Norcia e Montefortino, nelle chiesette campestri e negli eremi.

²⁶ Parco Nazionale dei Monti Sibillini. Fonte: naturaitalia.it

L'intera area dell'arco montuoso, che ricade all'interno del Parco Nazionale dei Monti Sibillini, comprende complessivamente il territorio di due comuni umbri e sedici comuni marchigiani. In Umbria vi sono Norcia e Preci, entrambi in provincia di Perugia. Nelle Marche ve ne sono tre in provincia di Ascoli Piceno, due in provincia di Fermo e undici in provincia di Macerata. Nel Parco sono presenti, inoltre, due bacini lacustri: il lago del Fiastrone, realizzato nel 1953 per scopi idroelettrici, e il lago di Pilato (figura 12).



Fig. 12 – Lago di Pilato

Il settore umbro del Parco copre circa un terzo della superficie complessiva dell'area protetta e si caratterizza per la presenza di vaste aree tettonico-carsiche tra cui il Piano di Santa Scolastica e quello di Castelluccio (figura 13).



Fig. 13 – Castelluccio di Norcia

3.1.2 Valle Castoriana

Appena oltrepassata la Forca di Ancarano, alle pendici di Monte Patino, si trova la Valle Castoriana (figura 14), piccola valle fluviale solcata dal Campiano, affluente del Nera. Questo toponimo appare per la prima volta nella leggenda *Duodecim Sociorum* in cui vengono narrati i fatti della vita di Sant'Eutizio.



Fig. 14 – Valle Castoriana

L'etimologia è incerta: forse da attribuire a un tempio dedicato ai Dioscuri Castore e Polluce, o al feudatario Castorius, funzionario della Curia Romana. Questa valle è

conosciuta anche sotto altre denominazioni: Valle Campiana, Valle di Sant'Eutizio o Valle Preciana e citata come *Vallis Campli* nei *Dialoghi* di San Gregorio Magno, composti sul finire del VI secolo. Grazie a testimonianze di manufatti litici e grotte paleolitiche, è possibile affermare che l'uomo vi si insedia sin dalla preistoria. Dell'epoca etrusca rimangono resti di una necropoli alla Forca di Ancarano. In epoca romana il territorio è sottomesso alla tribù *Quirina* e successivamente al *Municipium* di Norcia. Nel periodo longobardo viene annessa al Castaldato di Ponte mentre nel 1180 entra ufficialmente a far parte dello Stato Pontificio²⁷.

3.1.3 Norcia

Nella parte più montuosa e incontaminata dell'Umbria, precisamente nell'area del Parco Nazionale dei Monti Sibillini, in Valnerina, sul margine meridionale del grandioso Piano di Santa Scolastica, è situata la città sabina di Norcia (figura 15), patria di San Benedetto.



Fig. 15 – Piazza San Benedetto, Norcia

La bellezza e l'ordine di Norcia, caratterizzata dal suo glorioso passato romano e medievale, si specchiano nel territorio circostante, dove le forme geometriche dei campi fortificati da siepi e da querce sono punteggiati da un mosaico di insediamenti,

²⁷ <http://www.valledipreci.it/>

un tempo distinti in Castelli, centri fortificati, e Ville, insediamenti aperti, uniti fra loro da antiche strade e sentieri²⁸.

3.2 Campi Alto, cenni storici

Lungo la strada che da Norcia si dirige verso la Valnerina, attraversando tutta la Valle Castoriana, si trova Campi, la più energica e popolata tra le frazioni di Norcia. Si tratta di un piccolo paese completamente immerso nel Parco Nazionale dei Monti Sibillini. La cittadina risulta dislocata in due nuclei separati: Campi Basso, o Nuovo, e Campi Alto, o Vecchio, caratteristico borgo medievale oggetto del caso studio, arroccato sul pendio che si affaccia sulla Valle Campiana. Circondato da un'antica cinta muraria di cui è possibile intravedere ancora le tracce, la più evidente è la porta trecentesca d'accesso che si unisce uniformemente alla chiesa di Sant'Andrea e alla sottostante fonte ricavata dalla base della cinquecentesca loggia pensile²⁹ (figura 16).



Fig. 16 – Campi Alto, porta cinquecentesca e loggia pensile

²⁸ I comuni della Valnerina della Provincia di Perugia. Fonte: sanvalentinoterni.i

²⁹ <http://www.luoghidelsilenzio.it/>

3.2.1 Chiesa di Sant'Andrea

Di notevole interesse storico-architettonico è la chiesa di Sant'Andrea (figura 17), edificata nel XIV secolo. Questa si presenta esternamente con un ampio portico pensile rinascimentale a pianta triangolare e a cinque arcate, che fu aggiunto però XVI secolo, dove sono ben visibili e riconoscibili tracce di decorazioni e affreschi raffiguranti Sant'Andrea, il Crocifisso con il Castello di Campi e San Luca.



Fig. 17 – Chiesa di Sant'Andrea, Campi Alto

Spettacolare è il panorama che si osserva affacciandosi dal loggiato della chiesa, sulla valle sottostante. Sotto di esso si aprono due portali, quello di sinistra, il più antico e facente parte della costruzione originaria, presenta nella chiave di volta l'agnello crucifero, agnello che regge una croce e che sta a rappresentare il popolo che nel sacrificio raggiunge la salvezza, e due colonnine che sostengono, sopra i capitelli, due sculture di leoni. L'interno (figura 18) presenta un pavimento in pietra con tombe ed è suddiviso in due navate e tre campate di pilastri che sorreggono il soffitto costituito da volte a crociera. Tra i due portali è posta la cantoria con organo del 1787 costruito da Venanzo Fedeli sotto cui ha trovato posto un'acquasantiera ovale a colonna di stile

rinascimentale. Di fronte, addossato al primo pilastro e chiuso da una cancellata, è collocato il fonte battesimale a colonna costruito in pietra nel XVI secolo. Esso era provvisto di un caratteristico coperchio in pietra lavorato a squame. Sulla parete di destra sono collocati due altari, uno dedicato a Sant'Antonio da Padova con a fianco statua del Santo, l'altro posto in una nicchia affrescata nella seconda metà del 1500 e raffigurante la Madonna del Rosario.

Il presbiterio custodisce un bel pulpito intagliato e intarsiato del XVI secolo di scuola Seneca e un altare in muratura addossato alla parete di destra e dedicato a Sant'Andrea vicino a cui è posta, in una nicchia, una statua in legno del Santo Patrono.



Fig. 18 – Chiesa di Sant'Andrea dall'interno

3.2.2 Chiesa di San Salvatore

Una delle testimonianze più importanti del territorio della Valnerina è la chiesa di San Salvatore (figura 19), documentata già nel 1115 con il titolo di Pieve di Santa Maria.



Fig. 19 – Chiesa di San Salvatore, Campi Basso

La storia della chiesa di San Salvatore è quella di un'antica pieve ampliata nel corso dei secoli. Essa infatti si sviluppava anticamente sulla sola navata sinistra della chiesa attuale e fu ingrandita nel XIV secolo con la realizzazione di un altro tempio sul lato destro con una seconda navata, comunicante con la prima, un secondo rosone e un secondo portale. Sulla facciata fu inoltre addossato un portico sorretto in mezzo da una colonna. L'interno è a due navate divise in otto campate da cinque pilastri, su cui poggiano gli archi delle volte a crociera con costoloni le quali sono estese a tutto l'impianto salvo per la parte anteriore della navata sinistra, a capriate. Questa zona, la più antica, presenta un grande arco ogivale affrescato nel 1451. Le rappresentazioni pittoriche interne sono di notevole pregio artistico e rappresentano un'importante testimonianza della valenza storica dell'antica chiesa³⁰.

³⁰ Castello di Campi – Norcia (PG). Fonte: iluoghidelsilenzio.it, 2015

3.3 Sequenza sismica di Amatrice, Norcia e Visso

Gli eventi sismici del Centro Italia del 2016 e del 2017, definiti dall'INGV *Sequenza Sismica di Amatrice, Norcia e Visso*³¹, hanno provocato ingenti danni alla zona oggetto del caso studio.

La prima forte scossa è avvenuta il 24 Agosto 2016 alle ore 03:36 e ha avuto una magnitudo di 6.0 con epicentro situato lungo la Valle del Tronto, tra i comuni di Accumoli (RI) e Arquata del Tronto (AP). Due potenti repliche, la prima alle 19:11 con magnitudo 5.4 e la seconda scossa alle 21:18 con magnitudo 5.9, sono avvenute il 26 Ottobre 2016 con epicentri al confine umbro-marchigiano, tra i comuni della provincia di Macerata di Visso, Ussita e Castelsantangelo sul Nera.

Il 30 Ottobre 2016 è stata registrata la scossa più forte, di magnitudo momento 6.5 con epicentro tra i comuni di Norcia e Preci, arrecando danni consistenti anche alla frazione di Campi.

3.3.1 Definizione e intensità di un sisma

Il terremoto è un movimento del terreno causato da onde sismiche che si propagano a partire dalla rottura di una faglia. L'energia accumulata in anni di lenta deformazione della roccia viene liberata, sottoforma di onde sismiche, in pochi secondi al momento della rottura lungo la faglia. Il punto in cui avviene la frattura e da cui si originano le onde sismiche viene chiamato *ipocentro*: quanto più è profondo l'ipocentro e tanto più il sisma interessa zone vaste. Il punto della superficie terrestre posto invece verticalmente sopra l'ipocentro è detto *epicentro* ed è il luogo che risente maggiormente degli effetti del sisma. Alla luce di quanto detto è possibile affermare che più un terremoto ha ipocentro vicino alla superficie e più risulta catastrofico. La valutazione di un sisma si basa sulla *Scala Mercalli* (figura 20), la quale stima i danni provocati dal terremoto, e sulla *Scala Richter* (figura 21), la quale invece valuta la quantità di energia che si libera durante un terremoto³².

³¹ Terremoto del centro Italia cambia nome in Sequenza Amatrice-Norcia-Visso. Fonte: ansa.it, Febbraio 2017

³² Introduzione alla sismologia, G. P. Cimellaro, 2018

SCALA MERCALLI		
I	- Strumentale	Avvertita solo dagli strumenti
II	- Debole	Avvertita solo da poche persone sensibili in condizioni particolari
III	- Leggera	Avvertita da poche persone
IV	- Moderata	Avvertita da molte persone; tremiti di infissi e cristalli; oscillazione di oggetti sospesi
V	- Piuttosto forte	Avvertita da molte persone, anche addormentate; caduta di oggetti
VI	- Forte	Qualche lesione agli edifici
VII	- Molto forte	Caduta di comignoli; lesione agli edifici
VIII	- Distruttiva	Rovina parziale di alcuni edifici; vittime isolate
IX	- Rovinosa	Rovina totale di alcuni edifici; molte vittime; crepacci nel suolo
X	- Disastrosa	Crollo di parecchi edifici; numerose vittime; crepacci evidenti nel terreno
XI	- Molto disastrosa	Distruzione di agglomerati urbani; moltissime vittime; crepacci; frane; maremoto
XII	- Catastrofica	Danneggiamento totale; distruzione di ogni manufatto; pochi superstiti; sconvolgimento del suolo; maremoto

Fig. 20 – Scala Mercalli

SCALA RICHTER		
Magnitudo	TNT equivalente	Frequenza
0	1,0 chilogrammo	circa 8.000 al giorno
1	31,6 chilogrammi	
1,5	178,0 chilogrammi	
2	1,0 tonnellata	circa 1.000 al giorno
2,5	5,6 tonnellate	
3	31,6 tonnellate	circa 130 al giorno
3,5	178,0 tonnellate	
4	1.000,0 tonnellate	circa 15 al giorno
4,5	5.600,0 tonnellate	
5	31.600,0 tonnellate	2-3 al giorno
5,5	178.000,0 tonnellate	
6	1,0 milione di tonnellate	120 all'anno
6,5	5,6 milioni di tonnellate	
7	31,6 milioni di tonnellate	18 all'anno
7,5	178,0 milioni di tonnellate	
8	1,0 miliardo di tonnellate	1 all'anno
8,5	5,6 miliardi di tonnellate	
9	31,6 miliardi di tonnellate	1 ogni 20 anni
10	1.000,0 miliardi di tonnellate	Mai registrata

Fig. 21 – Scala Richter

3.3.2 Il terremoto del 30 Ottobre 2016

La scossa di magnitudo 6.5 del 30 Ottobre 2016, è stata percepita in gran parte della penisola italiana, in Austria e sulle coste balcaniche, risultando la più forte scossa di terremoto in Italia dal sisma dell'Irpinia del 1980. Tale evento ha creato gravissimi danni al patrimonio artistico e infrastrutturale di Norcia e dei paesini adiacenti a essa. Il simbolo dei danni di Norcia è la rovina quasi totale della Basilica di San Benedetto, di cui resta in piedi solo la facciata, così come le mura medievali, la Cattedrale, la semi

distruzione della frazione di Castelluccio di Norcia e della Chiesa di Sant'Andrea di Campi³³ (figure 22, 23).



Fig. 22 – Chiesa di Sant'Andrea dopo il terremoto, vista dall'alto



Fig. 23 – Chiesa di Sant'Andrea dopo il terremoto, vista frontale

³³ Terremoto del Centro Italia del 2016 e del 2017. Fonte: wikipedia.org

Come detto in precedenza, obiettivo principale di questo elaborato è quello di trovare un metodo efficace e immediato che possa essere utile ai soccorsi in caso di catastrofe naturale e che soprattutto possa essere utilizzato al fine di aumentare la *resilienza* delle zone colpite.

CAPITOLO 4

Acquisizione dei dati

4.1 Introduzione alle tecniche di rilievo

La conservazione e la valorizzazione del patrimonio culturale si basano su una documentazione rigorosa del bene oggetto di studio. A oggi, non è più sufficiente una conoscenza storico-artistica del territorio o di un manufatto architettonico ma vi è un interesse sempre maggiore nella conoscenza anche delle sue caratteristiche di forma, geometria e posizione. Rilievo e modellazione sono passaggi fondamentali al fine di avere una rappresentazione dettagliata della realtà e, negli ultimi anni, le conosciute tecniche in grado di realizzare misure di siti e beni architettonici sono state integrate con metodologie semi-automatiche in grado di rappresentare in modo dettagliato la configurazione, le caratteristiche morfologiche e gli elementi cromatici sia del territorio che dei beni architettonici³⁴.

La disciplina che va a indagare i metodi, i modelli di calcolo, le strumentazioni e la loro applicazione per il rilievo di una porzione limitata della superficie terrestre prende il nome di Geomatica. A seconda dell'oggetto da rilevare, della precisione richiesta, della scala di rappresentazione e degli strumenti a disposizione, esistono metodi differenti di rilievo che possono sintetizzarsi in due macro-gruppi di base: la tecnica di rilievo diretto e quella di rilievo indiretto. Nel primo caso ci si riferisce a operazioni di misurazione a diretto contatto con i manufatti da documentare, i cui risultati sono immediatamente analizzabili nei loro valori metrici mentre nel caso di rilievo indiretto, le misurazioni vengono effettuate con degli strumenti ottici, meccanici o informatici

³⁴ Tecniche innovative per il rilievo e la modellazione del territorio, L. Amato.

di grande precisione al fine di ottenere una traduzione grafica degli oggetti rilevati all'interno di un sistema di coordinate spaziali³⁵.

4.1.1 Il rilievo diretto

Il rilievo diretto, effettuato dall'operatore con l'aiuto di semplici strumenti di misura, è quello più utilizzato soprattutto in situazioni ordinarie e per edifici o ambienti di piccole dimensioni. Due sono le fasi principali: la fase di campagna, durante la quale le misure vengono annotate manualmente insieme a uno schizzo approssimato del manufatto definito *eidotipo*, e la fase di restituzione che permette la rappresentazione dei dati rilevati. Durante la prima fase, una delle tecniche più utilizzate per l'acquisizione delle misure è la *triangolazione*, la quale consente di stabilire la posizione di un punto rispetto a quella di altri due, permettendo così anche di rilevare oggetti di forme anche molto complesse.

Un'altra metodologia di rilievo integrativa a quella della triangolazione in quanto valida solo per piccole porzioni di spazio, è quella delle *coordinate cartesiane*. Quest'ultima consiste nell'individuare la posizione dei punti tramite una coppia di assi cartesiani, coincidenti con una coppia di riferimenti presi sul terreno³⁶. Gli strumenti che vengono utilizzati per il rilievo diretto sono:

- il filo a piombo (figura 24), il quale permette di individuare la direzione verticale per rilevare misure orizzontali rispetto alla verticale, la verticalità di uno spigolo, il profilo di una volta;



Fig. 24 – Filo a piombo

³⁵ Manuale di rilievo e documentazione digitale in archeologia, M.Bianchini. Ed. Aracne, 2008

³⁶ Corso di Disegno dell'architettura, D. Colistra, 2012

- la livella ad acqua (figura 25) o a bolla d'aria (figura 26), per individuare piani orizzontali, costituite rispettivamente da un tubo flessibile riempito di acqua collegato a due bicchieri graduati, e da una o più bolle montate su un supporto metallico, ciascuna formata da un tubo di vetro che contiene una bolla d'aria immersa in liquido;



Fig. 25 – Livella ad acqua



Fig. 26 – Livella a bolla d'aria

- la rotella metrica (figura 27), costituita da un nastro metallico di lunghezza variabile;



Fig. 27 – Rotella metrica

- il distanziometro laser (figura 28), in grado di misurare distanze con la tecnica degli ultrasuoni con puntatore laser.



Fig. 28 – Distanziometro laser

4.1.2 Il rilievo indiretto

La tecnica del rilievo indiretto nasce in Europa a partire dal XVII secolo nell'ambito del rilevamento del territorio. In questo caso le misure non vengono prese direttamente dall'oggetto ma attraverso diversi strumenti a contenuto tecnologico

avanzato che ne permettono l'acquisizione³⁷. Nei primi tempi veniva utilizzato il goniometro, sostituito successivamente dal teodolite.

Negli ultimi decenni del secolo scorso sono stati applicati ai teodoliti i distanziometri elettronici i quali, associando la misura della distanza alla lettura angolare consentendo il posizionamento di un punto ignoto a partire da una sola stazione, hanno contribuito molto alla velocizzazione del lavoro. L'ultima evoluzione del teodolite è la stazione totale³⁸ (figura 29).



Fig. 29 – Stazione Totale

Si tratta di uno strumento topografico che permette di determinare esattamente la posizione di punti nello spazio grazie a un teodolite e a un distanziometro elettronici integrati nel suo cannocchiale. Differenza sostanziale tra i tradizionali strumenti ottici e la stazione totale sta, oltre che nella presenza del distanziometro, anche nel sistema

³⁷ L'arte del rilievo, 2013. Fonte: katiatrovenzi.wixsite.com

³⁸ Manuale di rilievo e documentazione digitale in archeologia, M.Bianchini. Ed. Aracne, 2008

di memorizzazione dei dati rilevati e nella presenza di un software di bordo in grado di elaborarli fornendo così all'operatore risultati in tempo reale³⁹.

Se l'impiego del teodolite ha cominciato a diffondersi principalmente nel campo del rilievo architettonico affiancando il rilievo diretto, nell'ambito del rilievo del territorio si è recente affermato il GNSS, *Global Navigation Satellite System*. Si tratta di un sistema di geo-radiolocalizzazione e navigazione terrestre, marittima o aerea, che utilizza una rete di satelliti artificiali in orbita. Questa tipologia di sistema fornisce un servizio di posizionamento geo-spaziale a copertura globale che consente a piccoli e appositi ricevitori elettronici di individuare le loro coordinate geografiche su un qualunque punto della superficie terrestre o dell'atmosfera, elaborando segnali a radiofrequenza trasmessi in linea di vista da tali satelliti⁴⁰. Il GNSS oggi è il più avanzato sistema di radionavigazione disponibile per le navi, gli aeromobili e ogni altro veicolo in moto⁴¹.

4.2 La fotogrammetria

Un importante ramo del rilievo indiretto è la fotogrammetria. Tale metodologia ha avuto notevole sviluppo a partire dall'inizio del Novecento prima di tutto nell'ambito del rilevamento del territorio per mezzo di riprese fotografiche da aeromobili e successivamente ha trovato maggiori applicazioni nel rilievo delle facciate di edifici storici. Dopo l'invenzione della fotografia, nel 1839, le tradizionali tecniche di rilievo per punti sono state affiancate dalla metodologia fotogrammetrica. In questo caso le operazioni di campagna vengono effettuate in modo tale che la posizione, la forma e le dimensioni degli oggetti presenti sul terreno vengano definite utilizzando opportune informazioni contenute in immagini fotografiche degli stessi, riprese da punti diversi. Ciò è possibile grazie all'uso di particolari fotocamere che producono fotogrammi sui quali vengono eseguite delle misure di precisione e che con buona approssimazione possono essere considerate delle vere e proprie prospettive centrali⁴². Si può affermare

³⁹ <https://www.aemmesurveying.it/>

⁴⁰ <https://www.gsa.europa.eu/>

⁴¹ Enciclopedia Treccani online. Fonte: treccani.it

⁴² Fotogrammetria, estensione del corso Misure, rilievo, progetto, Cannarozzo, Cucchiarini, Meschieri. Ed. Zanichelli, 2012

dunque che la fotogrammetria è la scienza che consente di ottenere informazioni metriche affidabili di oggetti fisici e dell'ambiente circostante attraverso processi di registrazione, misura e interpretazione di immagini fotografiche, permettendo la definizione della forma dell'oggetto fotografato e la sua collocazione spaziale fornendo le coordinate di punti in un sistema di riferimento tradizionale⁴³. Principio cardine su cui si basa la fotogrammetria è l'individuazione delle trasformazioni da applicare alle coordinate dello spazio immagine della fotografia in modo da relazionarlo con le grandezze dello spazio oggetto da rilevare, mettendo in relazione le coordinate oggetto tridimensionali con le coordinate bidimensionali dell'immagine fotografica. Oggi la fotogrammetria è meglio conosciuta come *Structure from Motion*, ovvero una tecnica basata sugli algoritmi di *Computer Vision* che è in grado di estrarre punti notevoli da singoli fotogrammi, desumerne i parametri fotografici e rilevare le coordinate nello spazio degli stessi punti incrociando quelli presenti in più immagini⁴⁴.

4.2.1 I principi e le fasi del rilievo fotogrammetrico

La tecnica fotogrammetria nasce con la definizione della *prospettiva centrale*, un procedimento geometrico che permette la trasformazione di una realtà tridimensionale in una realtà bidimensionale, e sfrutta il principio della *visione stereoscopica*, ovvero la visione dell'oggetto da rappresentare da due diversi punti di vista. Attraverso un insieme di specifiche procedure capaci di passare da immagini fotografiche di un oggetto a una sua descrizione metrica, è possibile determinare posizione e forma dell'oggetto stesso.

La fotografia non è altro che una proiezione centrale ottenuta proiettando su un piano, da un dato centro di proiezione, i punti dell'oggetto. Le intersezioni tra le rette proiettanti del fascio e il piano di proiezione rappresentano i *punti immagine*. Utilizzando due prospettive centrali di uno stesso *punto oggetto*, è possibile ricostruire la posizione spaziale del punto stesso. Da un punto di vista topografico della rappresentazione, la fotogrammetria serve a passare da prospettive centrali a proiezioni ortogonali.

⁴³ Rilievo fotogrammetrico da drone per la generazione di modelli termici di porzioni di territorio, M. Pinto, 2016

⁴⁴ Tecnica SfM "Structure from Motion" e fotogrammetria. Fonte: enea.it

Il rilievo fotogrammetrico si può suddividere in tre fasi principali che sono: la fase di *presa*, durante la quale dalle coordinate tridimensionali dello spazio oggetto, noti i parametri di orientamento interno di una macchina fotografica, si ottengono le coordinate bidimensionali dell'immagine, la fase di *orientamento*, durante la quale una volta individuate le coordinate oggetto e immagine vengono determinati dei parametri che consentono di posizionare i *centri di presa* con la stessa posizione nello spazio al momento della presa con conseguente ricostruzione della forma e delle dimensioni dell'oggetto ripreso, e infine la fase di *restituzione*, durante la quale tramite le coordinate immagine e i parametri di orientamento vengono determinate le coordinate spaziali dell'oggetto.

Come detto nel paragrafo precedente, lo scopo della fotogrammetria è quello di andare a determinare delle posizioni di punti nello spazio fisico a partire dalla misura delle posizioni dei punti corrispondenti su un'immagine fotografica. Affinché questo sia possibile, è indispensabile la conoscenza delle relazioni geometriche tra le posizioni spaziali dei punti dell'oggetto rappresentato e quelle delle loro immagini sul piano della fotografia. Poiché in realtà la descrizione di queste corrispondenze non è semplice e richiede una conoscenza dettagliata del cammino ottico dei raggi luminosi attraverso il sistema di lenti che costituisce l'obiettivo della macchina fotografica, è possibile adottare una schematizzazione in base alla quale si può affermare che i segmenti che congiungono i punti dell'oggetto rappresentato con le loro immagini si incontrino tutti in un punto, generalmente distante qualche centimetro dal piano della fotografia, detto *centro di presa*. La distanza del centro di presa dal piano dell'immagine è detta *distanza principale*, e dipende dalla configurazione dell'obiettivo (figura 30).

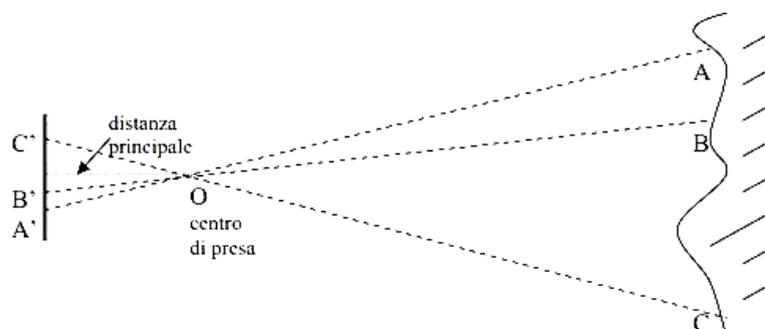


Fig. 30 – Geometria della presa fotogrammetrica

Il rapporto fra la distanza principale e la distanza dell'oggetto dal centro di presa restituisce la *scala* dell'immagine. Sul piano dell'immagine, al fine di poter effettuare delle misure di posizione, è necessario definire un sistema di assi cartesiani che viene visualizzato mediante un insieme di marche posizionate sui bordi dell'immagine stessa, come mostrato in figura 31.

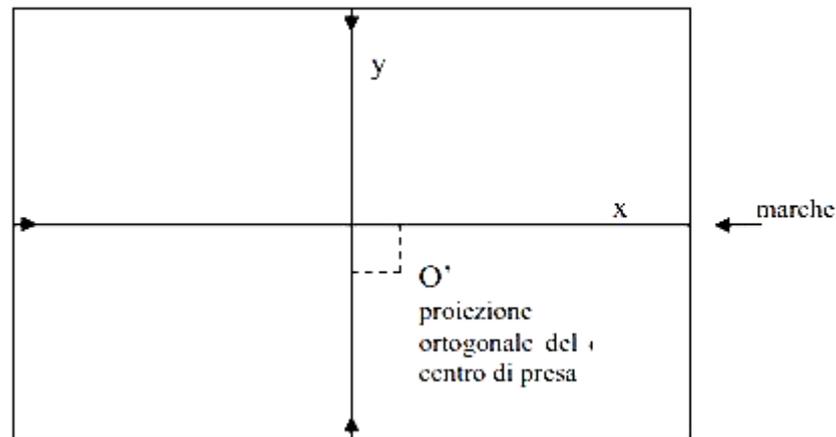


Fig. 31 – Sistema di assi cartesiani visualizzato con marche

Risolvere un problema fotogrammetrico significa relazionare le grandezze dello *spazio oggetto* da rilevare con quelle dello *spazio immagine* della fotografia. Bisogna quindi rapportare le coordinate tridimensionali (X, Y, Z) dei punti dello spazio reale con quelle bidimensionali (x, y) dell'immagine fotografica. I due sistemi di coordinate sono legati tra loro dalle caratteristiche della camera da presa e dalla sua posizione, che rappresentano i parametri dell'*orientamento*. Intuitivamente si nota che il sistema non è biunivoco poiché mentre da ogni punto dello spazio oggetto definito da tre coordinate è possibile determinare il relativo punto immagine in due coordinate, viceversa dallo spazio immagine non si ha una soluzione univocamente determinata, ma soluzioni infinite ottenute fissando un valore arbitrario a una delle tre coordinate spaziali. Ecco che per un oggetto tridimensionale è necessario considerare almeno due immagini per avere soluzioni univoche.

4.3 La fotogrammetria digitale

Negli ultimi anni del secolo scorso, i più importanti produttori di strumenti fotografici hanno sviluppato e introdotto i primi sistemi fotogrammetrici digitali che si sono largamente diffusi, dopo una prima fase di sperimentazione, tra gli addetti ai lavori. Il passaggio dalla fotogrammetria analitica a quella digitale ha introdotto l'utilizzo di immagini digitali che ha portato non solo a una notevole innovazione riguardo alla strumentazione utilizzata, ma anche allo sviluppo di nuovi algoritmi con obiettivo l'automazione del processo fotogrammetrico. Utilizzando infatti particolari programmi per l'esecuzione delle operazioni che prima venivano effettuate in maniera interattiva da tecnici specializzati, si è arrivati a eseguire in modalità automatica sia le procedure di orientamento interno ed esterno, sia all'estrazione di modelli digitali delle altezze.

In realtà, l'impiego degli ormai assodati algoritmi per il calcolo degli orientamenti o per la restituzione rimane valido e questa importante caratteristica viene evidenziata nella definizione che convenzionalmente viene utilizzata per definire un sistema fotogrammetrico digitale ovvero un insieme di *hardware e software per derivare prodotti fotogrammetrici da immagini digitali usando tecniche manuali e tecniche automatiche*.

L'acquisizione di un'immagine digitale può essere fatta sia direttamente tramite camere digitali, che indirettamente grazie alla conversione da analogico a digitale tramite scanner. In fotogrammetria digitale, la misura tradizionale delle coordinate immagine viene sostituita dall'identificazione del *pixel* all'interno di una matrice bidimensionale. Un'immagine digitale infatti viene rappresentata da una matrice bidimensionale composta da righe e da colonne. Tale rappresentazione, comunemente definita *raster*, si ottiene suddividendo l'immagine fotografica in *pixel* o *picture element*, ovvero in elementi di dimensioni finite. Ogni *pixel*, viene individuato univocamente da due numeri interi che rappresentano la radiometria dell'immagine fotografica, i quali identificano la posizione in riga e colonna all'interno della matrice (figura 32). Fissato un opportuno sistema di coordinate, si può associare direttamente a ogni *picture element* la coordinata di riferimento⁴⁵.

⁴⁵ Elementi di fotogrammetria digitale, M. Lo Brutto, 2005

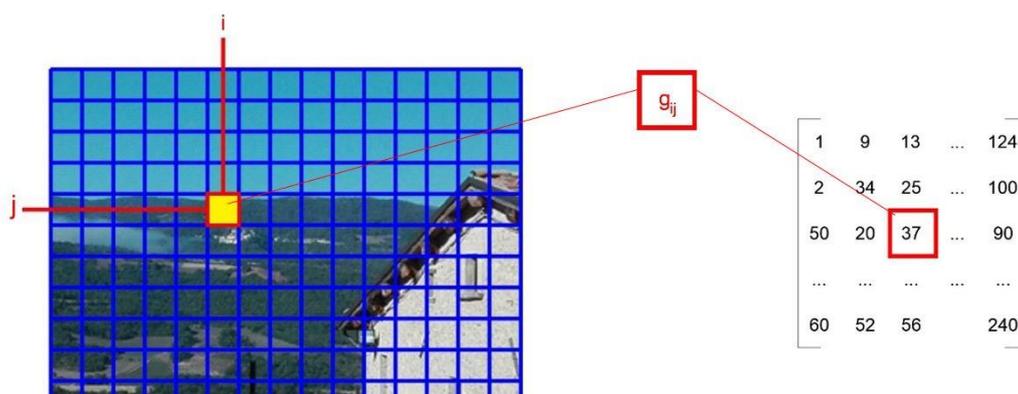


Fig. 32 – Rappresentazione raster di un fotogramma

4.4 La fotogrammetria aerea

La fotogrammetria aerea è una tecnica che permette il rilevamento del territorio nella sua continuità grazie all'utilizzo di particolari strumenti opportunamente attrezzati in grado di volare. La visione dall'alto è sempre stata considerata fondamentale e, affiancata dalla fotogrammetria digitale, è diventata uno strumento unico per l'acquisizione dei dati. I rilievi fotogrammetrici aerei sono comunque generalmente costosi e, a causa delle quote a cui possono volare gli aerei attrezzati, permettono di acquisire immagini con risoluzione limitata. Per questo motivo negli ultimi anni la continua ricerca e voglia di innovazione ha portato allo sviluppo di numerosi sistemi in grado di acquisire immagini digitali ad alta risoluzione a basso costo. Una delle tecniche più importati è quella dei mezzi aerei non convenzionali a volo autonomo: gli UAV, *Unmanned Aereal Vehicle*.

4.4.1 Il rilievo fotogrammetrico con UAV

Gli *Unmanned Aereal Vehicles*, più comunemente conosciuti con l'acronimo UAV, sono vettori aerei, automatici o semi-automatici, che non necessitano la presenza fisica di un pilota nel veicolo ma posso essere semplicemente guidati da un operatore a terra. Ideati inizialmente per scopi militari, grazie alle loro peculiari caratteristiche, si sono sempre più diffusi nel mercato globale in quanto adattabili a diversi ambiti di applicazione. In particolare, il continuo sviluppo di camere digitali compatte di altissima risoluzione con conseguente maggiore sostenibilità a livello

economico, ha permesso un concreto incremento dei sistemi UAV utilizzati per la realizzazione di rilievi fotogrammetrici in campo archeologico, architettonico e ambientale. La classificazione più conosciuta di questi velivoli è stata redatta dall'*Unmanned Vehicle Systems International Association*. In base al loro possibile utilizzo, gli UAV vengono categorizzati in differenti tipologie che, a loro volta, sono suddivise in sottocategorie in base alle loro caratteristiche e prestazioni. Per l'acquisizione dei dati in riferimento al caso studio, sono stati utilizzati i sistemi appartenenti alla categoria *Tactic*, in particolar modo quelli appartenenti alle sottocategorie evidenziate in tabella 2. I veicoli aerei tattici vengono utilizzati principalmente al fine di monitorare ambienti ostili e inaccessibili per le piattaforme tradizionali.

Tactic UAVs sottocategorie	Acronimo	Capacità di volo [km]	Max quota di volo raggiungibile [m]	Autonomia [ore]	Peso [kg]
Micro	μ (Micro)	< 10	250	1	< 5
Mini	Mini	< 10	150 - 300	< 2	150
Close Range	CR	110 - 30	3000	2 - 4	150
Short Range	SR	30 - 70	3000	3 - 6	200
Medium Range	MR	70 - 200	5000	6 - 10	1250
Medium Range Endurance	MRE	> 500	8000	10 - 18	1250
Low Altitude Deep Penetration	LADP	> 250	50 - 9000	0,5 - 1	350
Low Altitude Long Andurance	LALE	> 500	3000	> 24	< 30
Medium Altitude Long Endurance	MALE	> 500	14000	24 - 28	1500

Tab. 2 – Classificazione degli UAVs⁴⁶

La scelta della tipologia di UAV da utilizzare nella fase di rilievo aereo dipende dall'area che si vuole riprendere e dal tipo di rilievo che si vuole eseguire. In particolare, nel caso studio ci si può riferire a quelli che comunemente vengono chiamati *Small UAV* ovvero tre tipi di velivoli di dimensioni modeste che si distinguono in:

⁴⁶ Classificazione degli UAVs a cura della Unmanned Vehicle Systems International Association

- *nano UAV*, di dimensioni ridotte utilizzati in campo militare come velivoli spia e in campo civile per effettuare video o fotogrammi di bassa qualità;
- *micro UAV*, di dimensioni che variano dai 30 ai 50 cm che hanno la peculiarità, non potendo raggiungere velocità elevate, di restare in condizioni di volo stazionarie;
- *mini UAV*, di dimensioni variabili dai 50 ai 100 cm e di peso non superiore ai 20 kilogrammi con un raggio d'azione che si estende fino ai 15 chilometri di distanza⁴⁷.

4.5 Acquisizione dei dati per Campi Alto

Obiettivo principale dell'elaborato è quello di costruire un modello tridimensionale georeferenziato al fine di integrare un *database* già strutturato utile per la divulgazione delle informazioni, la documentazione, e la gestione delle emergenze. A tal proposito, l'approccio metodologico utilizzato include diverse tecniche integrate tra loro allo scopo di realizzare in modo veloce e rigoroso un rilievo multi-scala.

La campagna di acquisizione dei dati che ha interessato la zona alta di Campi, frazione di Norcia, è stata svolta in data 05 Settembre 2018 dal Team Direct, attraverso l'impiego di strumentazioni tradizionali come la stazione totale e per mezzo della fotogrammetria aerea da UAV.

4.5.1 Il Team *DIRECT, Disaster Recovery Team*

Il team *DIRECT, Disaster Recovery Team*, nasce nel 2011 e si compone di studenti e docenti che hanno come obiettivo la realizzazione e il mantenimento di una formazione studentesca continua nel campo delle tecnologie avanzate del Rilievo Metrico 3D e del Telerilevamento con tecniche innovative⁴⁸. Il team ha svolto, e svolge ancora oggi, esperienze formative ed attività operative in progetti ad alto valore scientifico-sociale mantenendosi attivo in tutte le fasi del *Disaster Management*, dall'analisi della vulnerabilità ambientale, alla risposta immediata alle emergenze, al

⁴⁷ Mezzi aerei non convenzionali..., F. Chiabrando, A. Lingua, P. Maschio, F. Rinaudo, A. Spanò. Op. cit., Maggio 2012

⁴⁸ <https://areeweb.polito.it/direct/>

rilievo post disastro. Oggetto dell'iniziativa è quello di acquisire i dati relativi al territorio e al patrimonio costruito, di fondamentale importanza in occasione di emergenze ambientali dovute anche, come nel caso di Campi Alto, ad eventi naturali catastrofici. Le attività del team si svolgono in due momenti differenti: prima la formazione in ateneo tramite lezioni tenute da *tutors*, e successivamente *stages* formativi sul luogo oggetto del rilievo, organizzati solitamente nel periodo estivo. Ad ogni modo, il team non si occupa soltanto dell'acquisizione dei dati ma anche del post-processamento di questi al fine di giungere a risultati ottimali per la salvaguardia e la conservazione del patrimonio culturale⁴⁹.

4.5.2 La campagna di rilevamento a cura del team DIRECT

L'organizzazione dei lavori di rilevamento è generalmente strutturata in fasi successive che seguono una logica ben precisa. La prima fase prevede la realizzazione della rete di inquadramento, la seconda consiste nell'effettuare ulteriori misure al fine di raffittire localmente la rete di inquadramento e infine si passa a un rilievo di dettaglio, come schematizzato in figura 33.

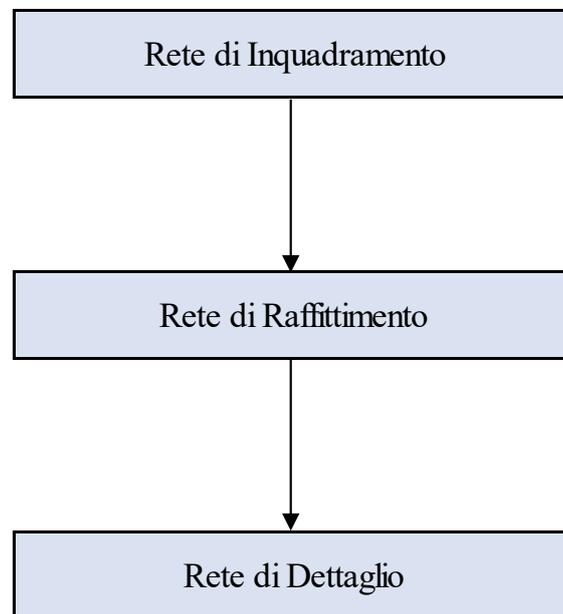


Fig. 33 – Schematizzazione fasi di rilevamento

⁴⁹ Architettura e natura di paesaggi archeologici. Analisi spaziali in ambiente Web-GIS per la conservazione e la comunicazione della memoria storica: il Parco Archeominerario di San Silvestro, Colucci 2017

Al fine di arrivare a una rappresentazione cartografica, scopo principale del rilievo topografico, sono necessari punti di inquadramento e punti di dettaglio. I punti di inquadramento, o di appoggio, formano una rete che costituisce la struttura portante delle successive fasi di rilievo. Generalmente, i punti di appoggio sono in numero limitato, distribuiti sulla zona da rilevare. I punti di dettaglio invece, sono quelli ritenuti necessari per fornire una corretta descrizione dei particolari morfologici della zona rilevata.

La campagna di rilevamento ha avuto inizio con la misurazione della rete di inquadramento topografica formata da vertici posizionati in un unico sistema di riferimento, nel caso in esame WGS 84, 33N. Primo passo è stato quello di posizionare i vertici. I punti della rete, in totale 4, sono stati materializzati sul terreno con diversi modi, ad esempio con chiodi o mattoncini, come riportato in figura 34.



Fig. 34 – Materializzazione del vertice CA_100

In figura 35 si riporta lo schema dei vertici.



Fig. 35 – Vertici per la definizione della rete di inquadramento

Una parte dei vertici della rete sono stati rilevati con la tecnica GNSS (GPS) in modalità statica ovvero su ciascun vertice è stato posizionato un ricevitore per acquisire le coordinate dei punti (figura 36).



Fig. 36 – Strumenti topografici su vertici

È stato possibile quindi determinare le coordinate di ciascun vertice (tabella 3).

Vertice	Coordinata Est (m)	Coordinata Nord (m)	Quota (m)
CA_100	344846.2130	4746278.6040	857.8190
CA_200	344681.6630	4746287.7035	863.8808
CA_300	344868.6928	4746286.6202	867.3513
CA_400	344903.5740	47466311.2450	879.1822

Tab. 3 – Coordinate dei vertici per la rete di inquadramento

Successivamente sono stati posizionati i *marker* a terra (figura 37) e misurati al fine di realizzare l'appoggio a terra del rilevamento aereo mediante fotogrammetria UAV.

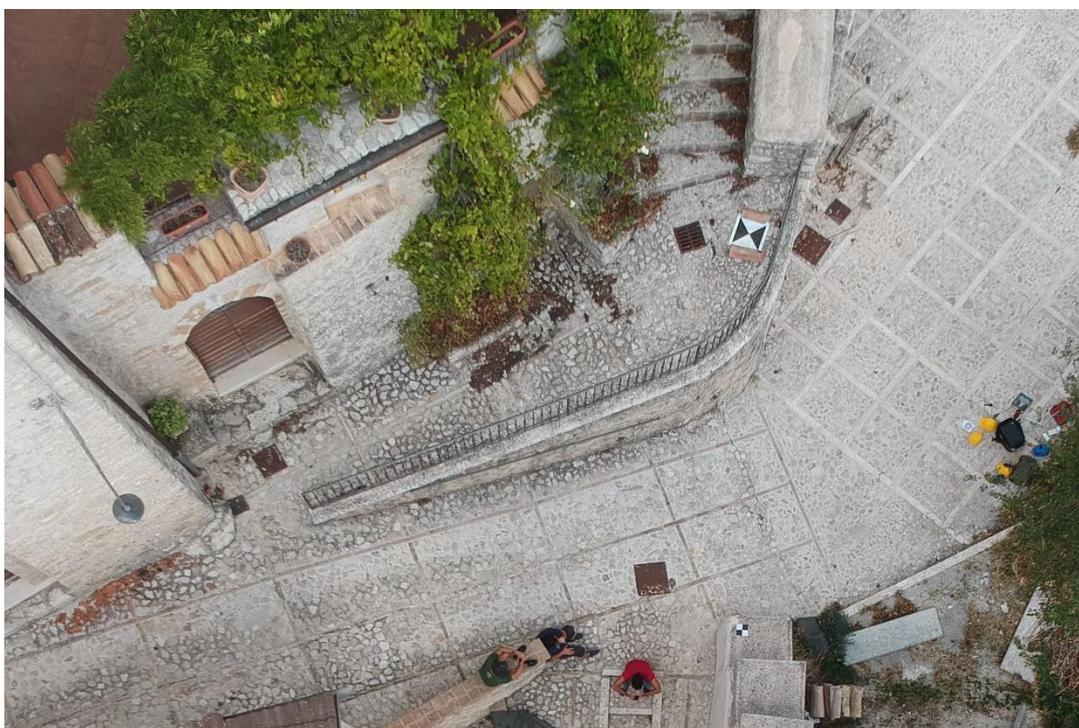


Fig. 37 – Posizionamento marker a terra

Di seguito (figura 38) si riportano i *marker* misurati con tecnica RTK, *real-time-kinematic*, per l'orientamento dei voli UAV. Per ottenere le coordinate di ciascun *marker* (tabella 4), le coordinate dei vertici della rete di inquadramento sono state compensate dagli operatori in Laboratorio con il *software Star*Net*, per la compensazione delle reti.

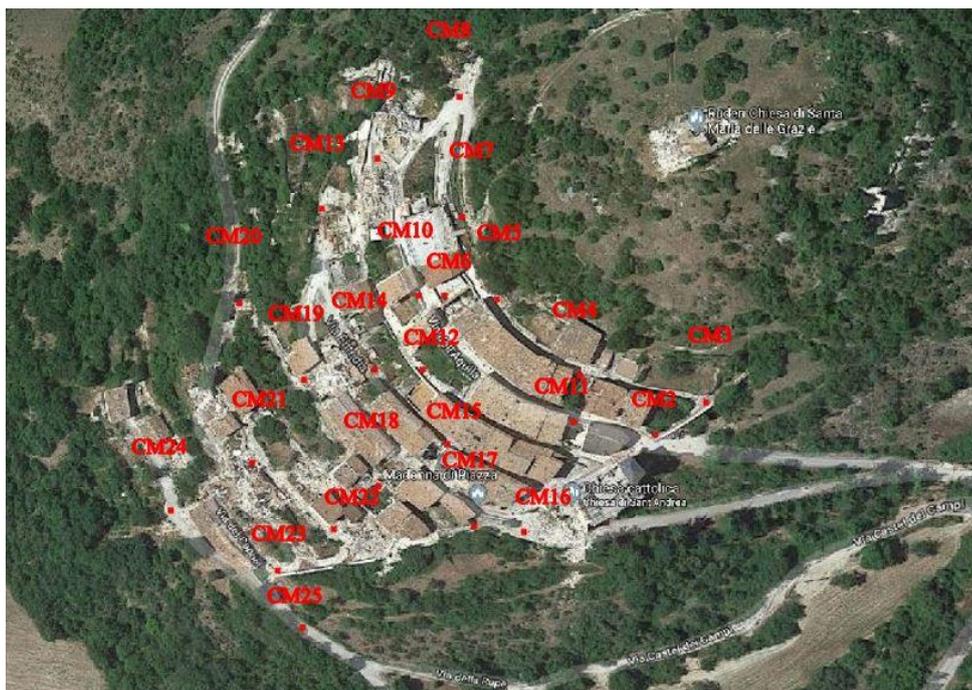


Fig. 38 – Marker per l'orientamento dei voli UAV

Marker	Coordinata Est (m)	Coordinata Nord (m)	Quota (m)
CM1	344902,027	4746301,737	872,027
CM2	344896,040	4746305,163	875,009
CM3	344908,274	4746316,598	881,476
CM4	344868,546	4746326,718	885,900
CM5	344841,466	4746351,079	885,802
CM6	344823,487	4746354,418	881,626
CM7	344832,395	4746379,940	885,716
CM8	344831,493	4746421,251	881,208
CM9	344804,681	4746401,584	873,346
CM10	344818,424	4746354,064	878,297
CM11	344868,061	4746311,476	876,431
CM12	344820,466	4746327,664	872,091
CM13	344787,217	4746375,898	862,59
CM14	344801,998	4746332,065	866,023
CM15	344831,795	4746302,229	866,116
CM16	344856,888	4746270,347	857,431
CM17	344830,161	4746271,777	850,971
CM18	344804,943	4746289,629	852,294
CM19	344779,648	4746326,266	854,093
CM20	344754,957	4746358,542	840,538
CM21	344763,480	4746295,154	837,302
CM22	344787,752	4746271,297	838,307
CM23	344768,033	4746254,325	826,642
CM24	344730,459	4746277,632	817,855
CM25	344781,809	4746231,136	819,639

Tab. 4 – Coordinate marker a terra

Durante questa fase sono stati realizzati inoltre degli eidotipi (figure 39, 40), ovvero degli schizzi a mano sul posto, sui quali sono state riportate tutte le informazioni necessarie nella fase di misurazione e restituzione grafica.

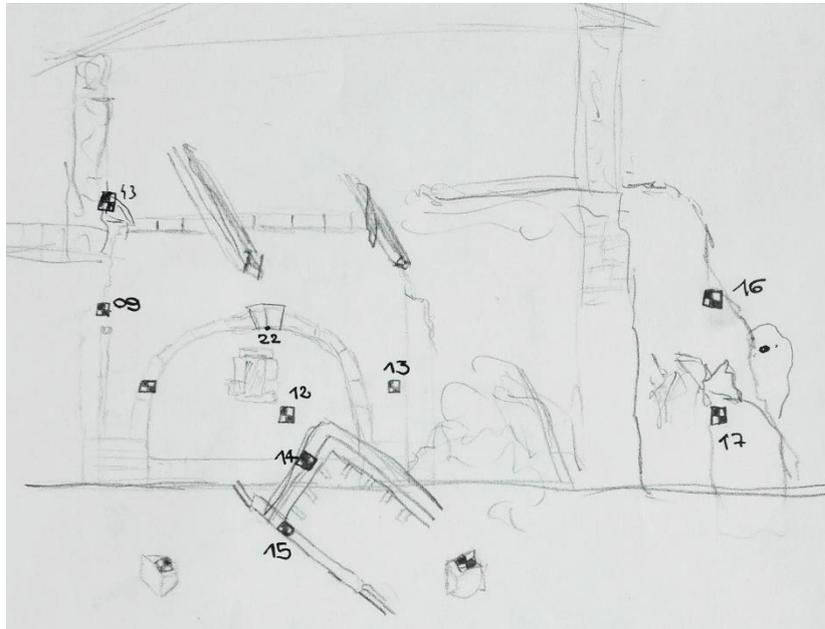


Fig. 39 – Eidotipo Chiesa di Sant'Andrea

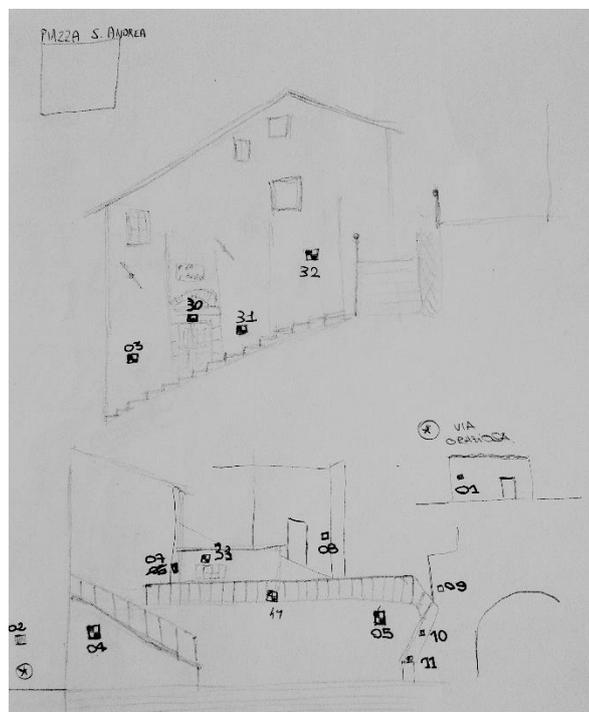


Fig. 40 – Eidotipo Campi Alto in fase di acquisizione dati

4.5.3 Acquisizione dei dati tramite UAV

Per mettere in atto l'acquisizione dei dati tramite UAV, è stato necessario effettuare delle operazioni preliminari quali la pianificazione del volo, la valutazione degli strumenti a disposizione e l'impostazione di questi ultimi, al fine di giungere a risultati accettabili e corretti. Per pianificare correttamente una presa aerea fotogrammetrica digitale è necessario conoscere le caratteristiche tecniche delle camere utilizzate. In particolare, è necessario conoscere le proprietà dell'obiettivo della camera al fine di poter determinare la precisione che si può ottenere dal rilievo. L'acquisizione dei fotogrammi è stata realizzata in tre momenti differenti mediante l'utilizzo di tre diverse tipologie di drone.

La prima presa aerea è stata effettuata mediante la fotocamera FC6310 posizionata sul drone *DJI Phantom 4 PRO* (figura 41), le cui caratteristiche vengono riportate in tabella 5.



Fig. 41 – DJI Phantom 4 PRO

SPECIFICHE TECNICHE FC6310	
Sensore	1 pollice CMOS
N. pixel	20 Megapixel
Obiettivo	FOV 84° 8.8mm/24mm (formato 35 mm) f/2.8 -f1.1 con messa a fuoco automatica da 1 metro
Range ISO	Video: 100-3200 (auto); 100-6400 (manuale) Foto: 100-3200 (auto); 100-12800 (manuale)
Dimensione massima immagine	3:2 5472 x 3648 4:3: 4864 x 3648 16:9: 5472 x 3078

Tab. 5 – Caratteristiche della fotocamera sul Phantom 4 PRO⁵⁰

Successivamente è stato deciso di effettuare una seconda presa aerea mediante la fotocamera FC220 fissata sul drone *DJI Mavic PRO* (figura 42), le cui caratteristiche vengono riportate in tabella 6.



Fig. 42 – DJI Mavic PRO

⁵⁰ Caratteristiche Tecniche DJI Phantom 4 PRO. Fonte: djitop.com

SPECIFICHE TECNICHE FC220	
Sensore	1/2.3" (CMOS)
N. pixel	12.35 Megapixel
Obiettivo	FOV 78.8° 28 mm f/2.2 con messa a fuoco da 0.5 m a infinito
Range ISO	Video: 100-3200 Foto: 100-1600
Dimensione massima immagine	4000 x 3000

Tab. 6 – Caratteristiche della fotocamera sul DJI Mavic PRO⁵¹

L'ultima ripresa area è stata realizzata mediante la fotocamera FC1102 posizionata sul drone *DJI Spark* (figura 43), le cui caratteristiche vengono riportate in tabella 7.



Fig. 43 – DJI Spark

⁵¹ Caratteristiche Tecniche DJI Mavic PRO. Fonte: djitop.com

SPECIFICHE TECNICHE FC1120	
Sensore	1/2.3" (CMOS)
N. pixel	12 Megapixel
Obiettivo	FOV 81.9° 25 mm f/2.6 con messa a fuoco da 2 m a infinito
Range ISO	Video: 100-3200 Foto: 100-1600
Dimensione massima immagine	3968 x 2976

Tab. 7 – Caratteristiche della fotocamera sul DJI Spark⁵²

I fotogrammi acquisiti con ciascun drone devono avere un contenuto metrico rigoroso. Per questo motivo risulta fondamentale conoscere la geometria della camera e dell'immagine generata, quindi i parametri di orientamento interno, e che le immagini siano posizionate e orientate correttamente nello spazio, parametri di orientamento esterno⁵³. Prima quindi di effettuare i voli aerei con ciascun drone, è stato necessario definire alcuni parametri affinché i fotogrammi ripresi durante il volo fossero funzionali alle esigenze della successiva restituzione. La quota di volo è legata al concetto di *scala* dell'immagine, definita come il rapporto tra la distanza principale e la distanza dell'oggetto dal centro di presa. Il rapporto tra la dimensione massima del fotogramma l e la corrispondente dimensione reale dell'oggetto L è definita come *scala media* m_p . In figura 44 viene riportata la schematizzazione della definizione della scala media dei fotogrammi in configurazione di presa terrestre (a) e di presa aerea (b)⁵⁴.

⁵² Caratteristiche Tecniche DJI Spark. Fonte: djitop.com

⁵³ Fotogrammetria da drone: basi teoriche della presa, requisiti di precisione e piano di volo. Corso: Utilizzo dei droni/SAPR per il rilevamento metrico e tematico del territorio, Conferenza ASITA 2016

⁵⁴ Fotogrammetria, estensione del corso Misure, rilievo, progetto, Cannarozzo, Cucchiarini, Meschieri. Ed. Zanichelli, 2012

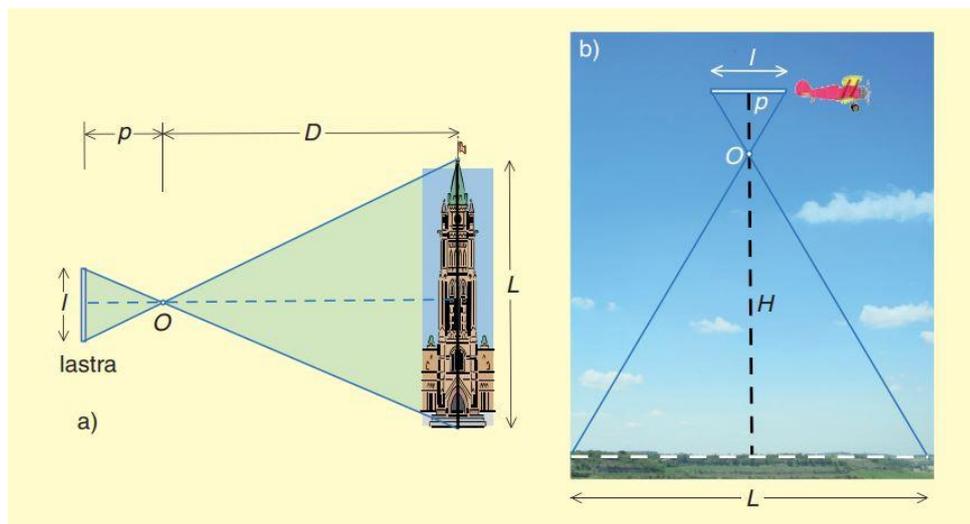


Fig. 44 – Definizione della scala media dei fotogrammi

L'altezza di volo è inoltre correlata al GSD, *Ground Sample Distance* in quanto l'altezza di volo è direttamente proporzionale a questo parametro e deve essere costante per garantirle un valore accettabile. Il GSD è un parametro che rappresenta la distanza tra il centro di due *pixel* consecutivi espressa in unità di misura territoriale. In altre parole, è la quantità di terreno contenuta in un campione di immagine⁵⁵. La *Ground Sample Distance* dipende dalle caratteristiche geometriche della fotocamera, in particolare dalle dimensioni del sensore e dalla focale impiegata, e dall'altezza di volo. Naturalmente tutto è determinato dall'obiettivo del rilievo e dalla scala di restituzione, nel caso specifico 1: 500.

Il GSD viene calcolato con la seguente formula:

$$GSD = \frac{H \cdot d_{pix}}{d}$$

dove:

- H, altezza relativa di volo;
- d_{pix} , dimensione del *pixel*;
- d, lunghezza focale.

⁵⁵ <http://www.3deffe.com/>

È stato quindi impostato un foglio di lavoro *excel* in cui sono stati inseriti i valori necessari al fine di calcolare il GSD. È stato poi verificato che il risultato ottenuto fosse inferiore al GSD_{max} pari alla metà della precisione. Gli stessi passaggi sono stati ripetuti per tutti e tre gli strumenti utilizzati in fase di rilevamento aereo (tabelle 8, 9, 10).

GEOMETRIA DELLA CAMERA		
Phantom 4 PRO		
Sensore fotografico		
l_x (mm)	l_y (mm)	Risoluzione (megapixel)
8.8	13.2	19.96
Immagine		
Larghezza (pixel)	Altezza (pixel)	Dimensione Pixel (mm/pixel)
5472	3648	0.0016
Optica		
Lunghezza focale (mm)		24

DATI INIZIALI DEL VOLO	
Ricoprimento longitudinale	0.7
Ricoprimento trasversale	0.6
Scala di restituzione 1:	500
Precisione (mm)	100
Tolleranza (mm)	200
GSD massimo (mm)	50
ALTEZZA DI VOLO	
Altezza relativa di volo	40
GSD (mm/pixel)	VERIFICA (< GSD_{max})
2.680311891	OK

Tab. 8 – Calcolo GSD per Phantom 4 PRO

GEOMETRIA DELLA CAMERA		
Mavic PRO		
Sensore fotografico		
l_x (mm)	l_y (mm)	Risoluzione (megapixel)
6.17	4.55	12.35
Immagine		
Larghezza (pixel)	Altezza (pixel)	Dimensione Pixel (mm/pixel)
4000	3000	0.0015
Optica		
Lunghezza focale (mm)		26

DATI INIZIALI DEL VOLO	
Ricoprimento longitudinale	0.7
Ricoprimento trasversale	0.6
Scala di restituzione 1:	500
Precisione	100
Tolleranza	200
GSD massimo (mm)	50
ALTEZZA DI VOLO	
Altezza relativa di volo	40
GSD (mm/pixel)	VERIFICA (< GSD_{max})
2.373076923	OK

Tab. 9 – Calcolo GSD per Mavic PRO

GEOMETRIA DELLA CAMERA		
Spark		

Sensore fotografico		
l_x (mm)	l_y (mm)	Risoluzione (megapixel)
6.17	4.55	12

Immagine		
Larghezza (pixel)	Altezza (pixel)	Dimensione Pixel (mm/pixel)
3968	2976	0.0016

Ottica	
Lunghezza focale (mm)	25

DATI INIZIALI DEL VOLO	
Ricoprimento longitudinale	0.7
Ricoprimento trasversale	0.6
Scala di restituzione 1:	500

Precisione	100
Tolleranza	200
GSD massimo (mm)	50

ALTEZZA DI VOLO	
Altezza relativa di volo	40

GSD (mm/pixel)	VERIFICA ($< GSD_{max}$)
2.487903226	OK

Tab. 10 – Calcolo GSD per Spark

Per una corretta rappresentazione cartografica è inoltre fondamentale che il velivolo mantenga una traiettoria rettilinea a una velocità costante, in modo tale che ogni punto del terreno sia ripreso almeno da due fotogrammi consecutivi. Nell'immagine a seguire viene riportato lo schema di presa per il ricoprimento longitudinale e la generazione di modelli stereoscopici⁵⁶ (figura 45).

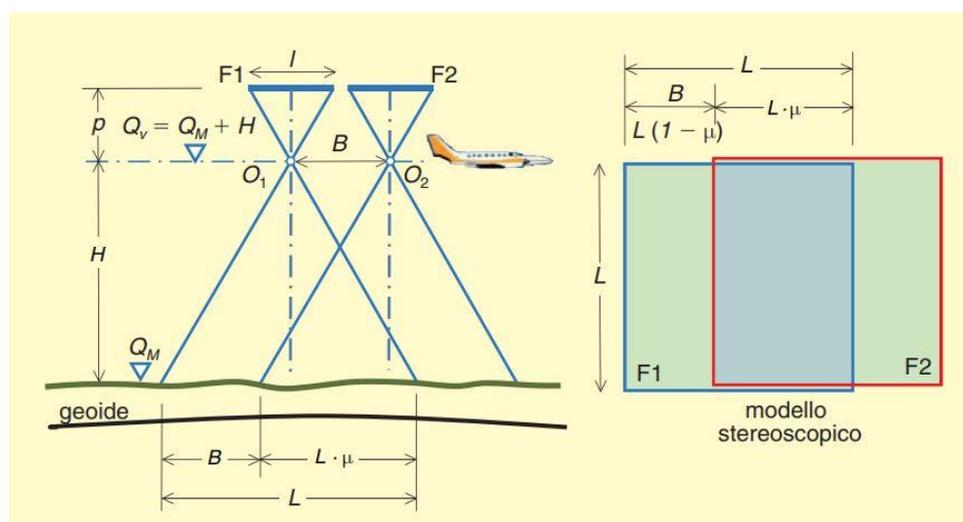


Fig. 45 – Schema di presa e generazione modelli stereoscopici

⁵⁶ Fotogrammetria, estensione del corso Misure, rilievo, progetto, Cannarozzo, Cucchiarini, Meschieri. Ed. Zanichelli, 2012

A seguire, in figura 46, si riporta un esempio di come il procedimento appena descritto è stato realizzato in fase di rilievo con UAV a Campi Alto.



Fig. 46 – Esempio di fotogrammi per il ricoprimento longitudinale

Per quanto riguarda il rilievo effettuato con il *Phantom 4 PRO*, è opportuno specificare che il lavoro in tre momenti differenti, a causa dell'inclinazione del terreno su cui si trova Campi Alto. L'intera aerea è stata infatti suddivisa empiricamente in tre zone: superiore, centrale e inferiore. Per ciascuna zona sono state acquisite sia immagini nadirali, con la camera rivolta verso il basso, che immagini con l'asse della fotocamera inclinato di 45 gradi rispetto all'orizzontale. Nelle figure 47, 48, 49, vengono riportati gli schemi di volo delle tre zone. In verde viene rappresentato il percorso seguito dal dronte con asse della fotocamera inclinato di 45 gradi mentre in giallo viene rappresentato il percorso seguito dal drone per l'acquisizione delle immagini nadirali.

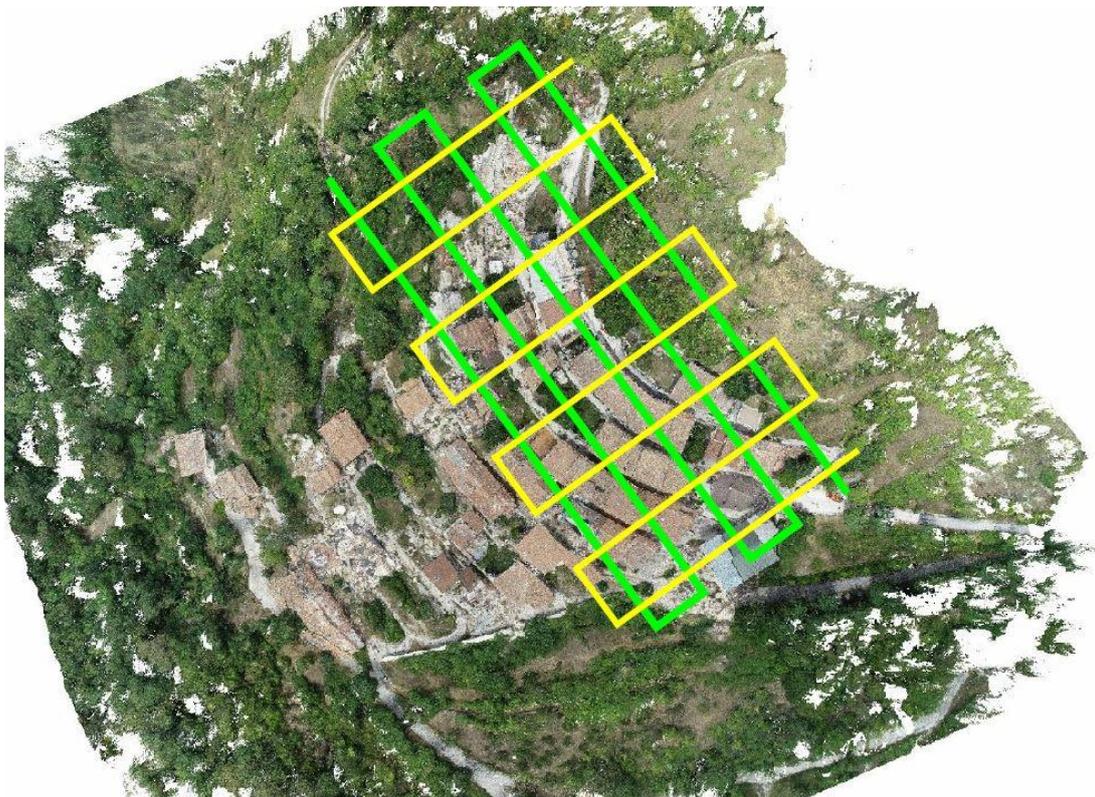


Fig. 47 – Piano di volo Phantom 4 PRO, zona superiore

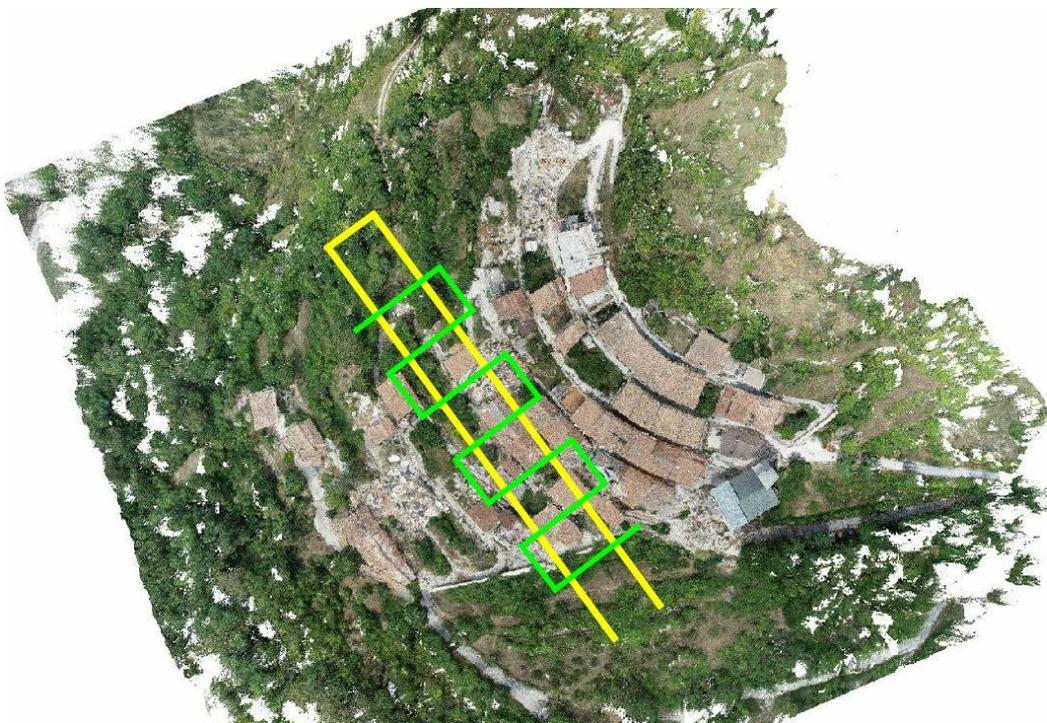


Fig. 48 – Piano di volo Phantom 4 PRO, zona centrale

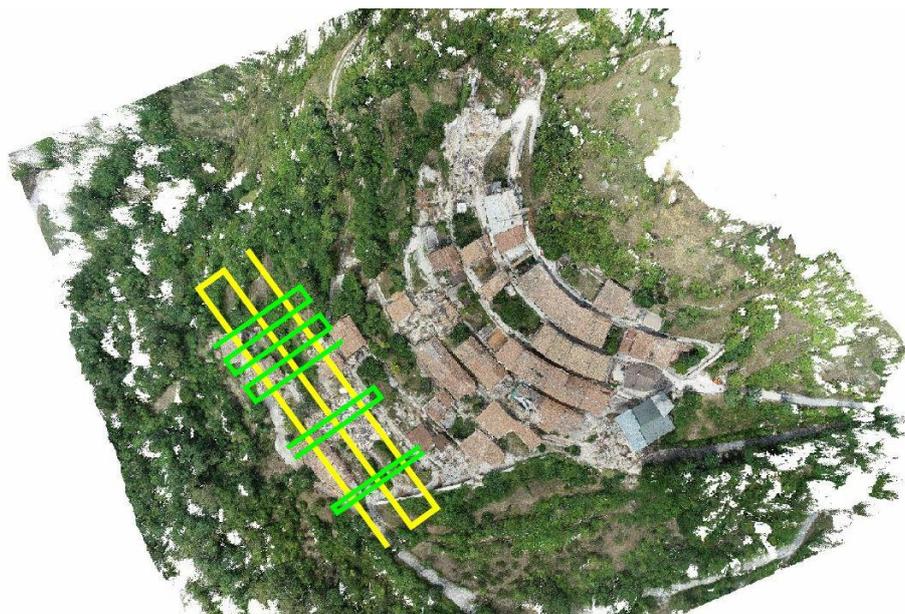


Fig. 49 – Piano di volo Phantom 4 PRO, zona inferiore

I rilievi aerei invece effettuati con *Mavic PRO* e *Spark*, hanno interessato solo la Chiesa di Sant'Andrea. In particolare, con il *Mavic PRO* sono state acquisite immagini oblique (inclinazione 45°) secondo lo schema di volo riportato in figura 50 mentre con lo *Spark* sono stati acquisiti fotogrammi nadirali secondo lo schema di volo riportato in figura 51.



Fig. 50 – Piano di volo Mavic PRO



Fig. 51 – Piano di volo Spark

CAPITOLO 5

Elaborazione dei dati

5.1 Organizzazione del lavoro

Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato in un primo momento *Agisoft – Photoscan*, un *software stand-alone* per il processo fotogrammetrico di immagini digitali in grado di generare dati utilizzabili dal GIS per la documentazione del patrimonio culturale, la produzione di effetti speciali e le misurazioni di oggetti di svariate scale⁵⁷. L'obiettivo finale di *Agisoft - Photoscan* è quello di generare texture e modelli 3D attraverso l'utilizzo di immagini fisse.

Inizialmente è stato necessario organizzare il lavoro in base alla logica del programma. Talvolta può accadere che risulti difficile o addirittura impossibile generare un modello tridimensionale di tutta la scena in una sola volta a causa ad esempio di un numero troppo elevato di fotografie. Per superare questa difficoltà *Photoscan* offre la possibilità di dividere il set di foto in blocchi diversi e distinti nell'ambito del medesimo progetto. Sfruttando questa funzione infatti, sono stati creati insiemi di immagini differenti definiti *Chunk*, a seconda dei vari fotogrammi da elaborare. Poiché il rilievo è stato effettuato mediante tre diverse tipologie di drone, per comodità si è scelto di generare tre *Chunk* separati e procedere con la ripetizione dei vari passaggi per ciascuno di essi.

I primi dati analizzati sono stati quelli del *Phantom*. Sono stati caricati nel *Chunk 1* per mezzo del comando *Add Photos* (figura 52) tutti i fotogrammi forniti dal docente per un totale di 636 immagini (figura 53).

⁵⁷ Metashape: la nuova frontiera della fotogrammetria, P. Meloni, 2019

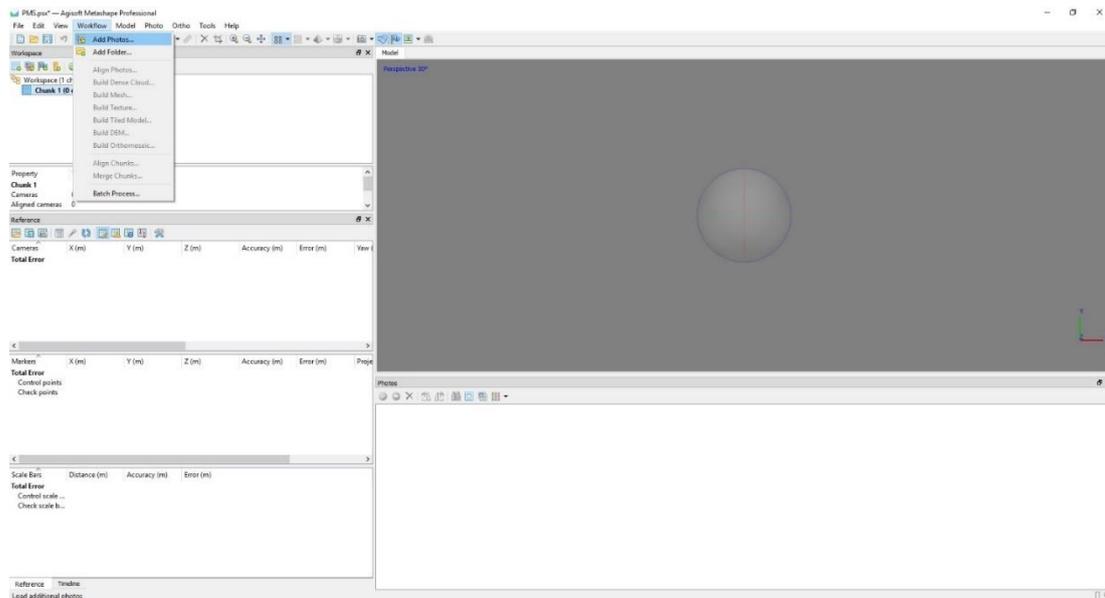


Fig. 52 – Add photos

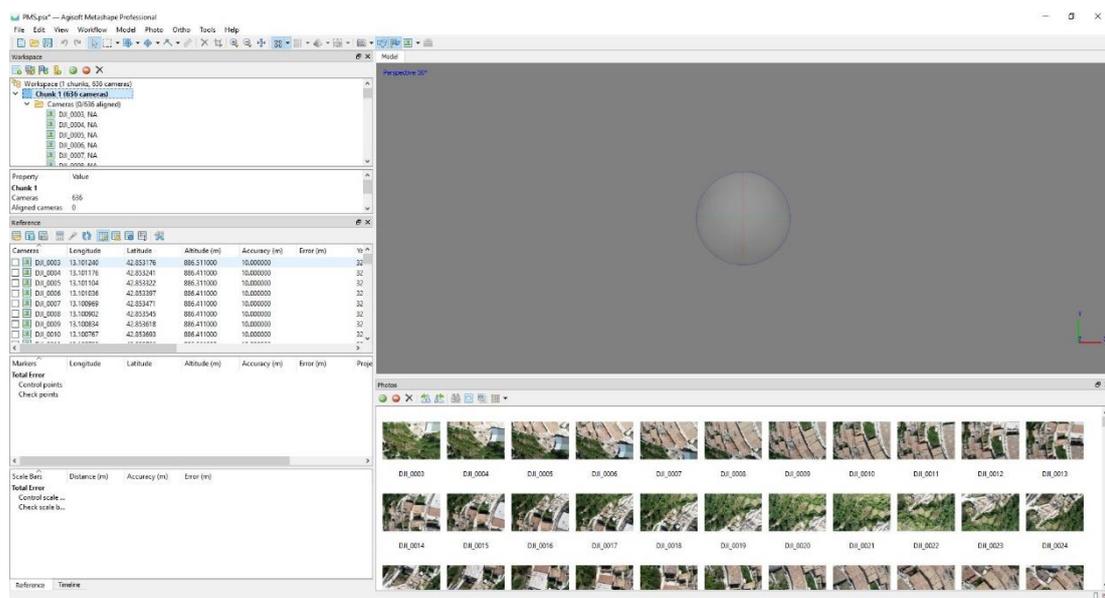


Fig. 53 – Caricamento fotogrammi nel Chunk 1

In un secondo momento è stato creato il *Chunk 2*, contenente al suo interno le immagini acquisite con il *Mavic*. In questo caso è stata fatta una selezione delle fotografie da utilizzare, selezionandone solo 30 delle 225 a disposizione (figura 54).

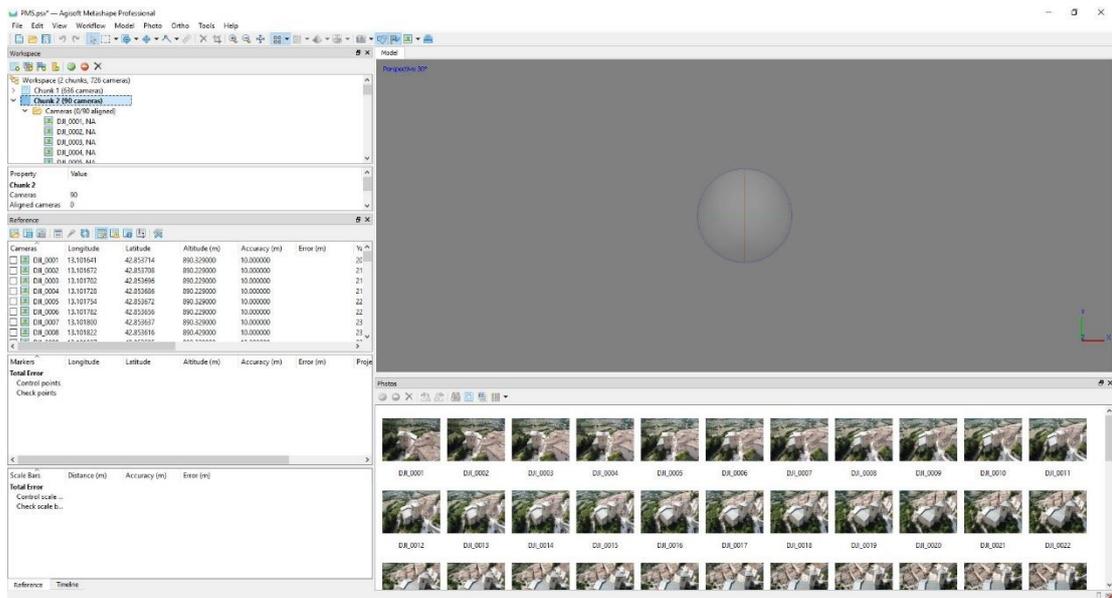


Fig. 54 – Caricamento fotogrammi nel Chunk 2

La scelta delle 30 immagini da tenere per la successiva elaborazione è stata fatta andando a eliminare le foto che risultavano essere non molto chiare o sfocate, come l'immagine in figura 55, oppure andando a non considerare quelle immagini che riprendevano il paesaggio circostante non riportando dunque il paese interessato dallo studio, come illustrato in figura 56.



Fig. 55 – Esempio 1 di fotogrammi eliminati



Fig. 56 – Esempio 2 di fotogrammi eliminati

Si è passati quindi alla creazione del *Chunk 3*, il quale racchiudeva i fotogrammi acquisitivi con lo *Spark*. Anche questa volta è stata fatta una selezione dei fotogrammi da impiegare seguendo il criterio appena descritto, che ha portato alla preferenza di 226 immagini tra le 338 a disposizione (figura 57).

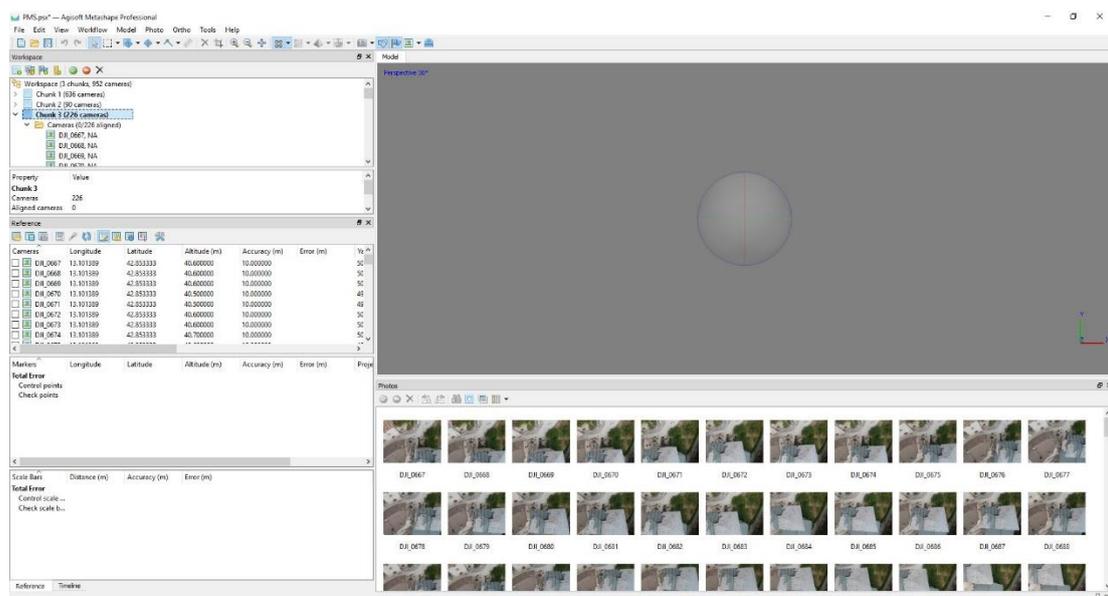


Fig. 57 – Caricamento fotogrammi *Chunk 3*

Per referenziare il modello a coordinate del mondo reale è necessario utilizzare le coordinate dei *marker* o quelle della fotocamera. Il modello può essere posizionato sia con coordinate euclidee locali che con coordinate georeferenziate. Per il caso studio in esame, importati i fotogrammi, tramite il comando *Import*, sono stati caricati i file di coordinate *.csv* e *.txt* dei *marker* descritti in precedenza scegliendo come sistema di riferimento il WGS 84 / UTM zone 33N e ordinando le coordinate in modo tale che nella prima colonna comparissero quelle *est*, nella seconda quelle *nord* e nella terza quelle relative alla quota come si evidenzia nelle figure 58, 59, 60.

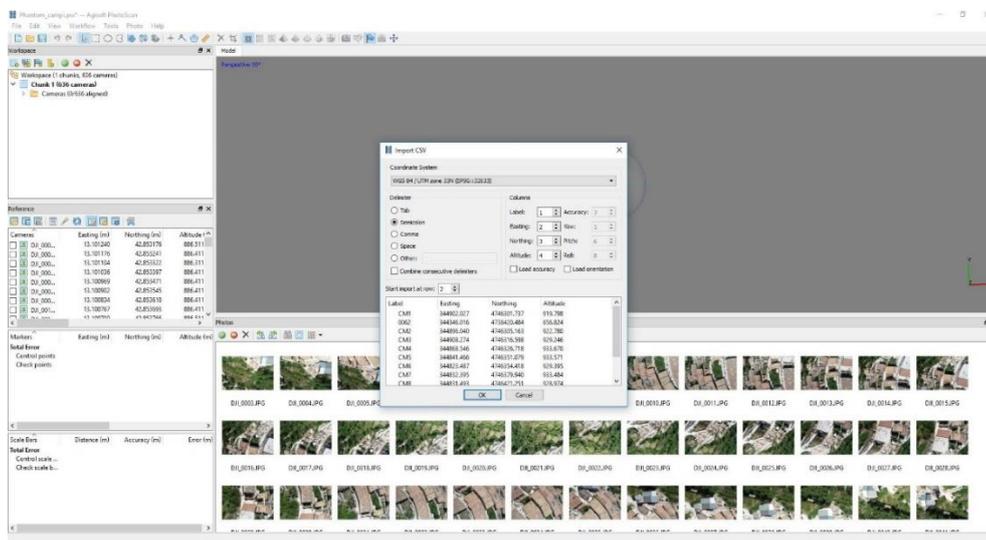


Fig. 58 – Caricamento coordinate nel Chunk 1

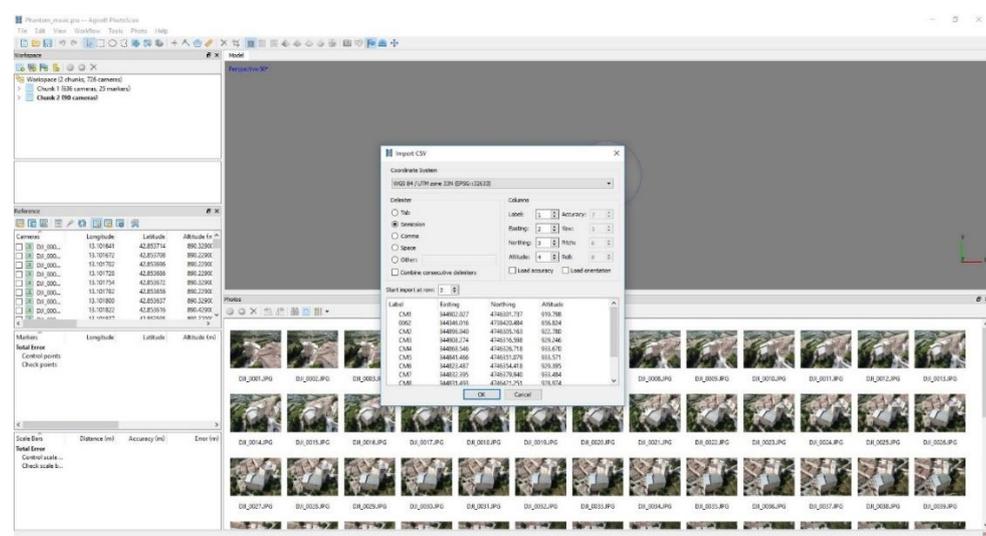


Fig. 59 – Caricamento coordinate nel Chunk 2

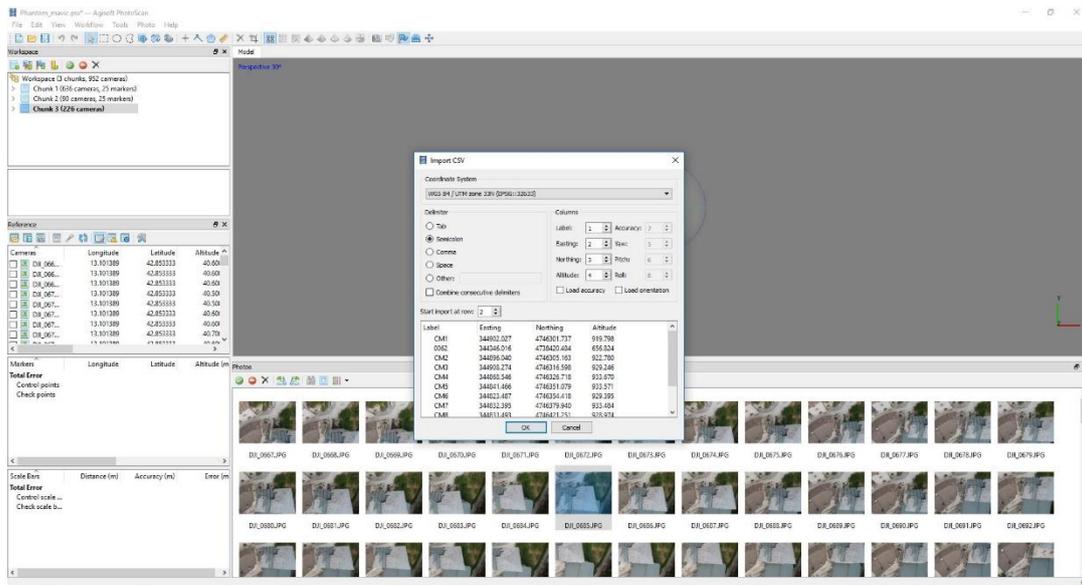


Fig. 60 – Caricamento coordinate nel Chunk 3

5.1.1 Allineamento dei fotogrammi

In un primo momento ci si è soffermati sull'elaborazione dei fotogrammi caricati nel *Chunk 1*. Come prima cosa è stato necessario effettuare l'allineamento della fotocamera tramite il comando *Align Photos* dal menù *Workflow* (figura 61).

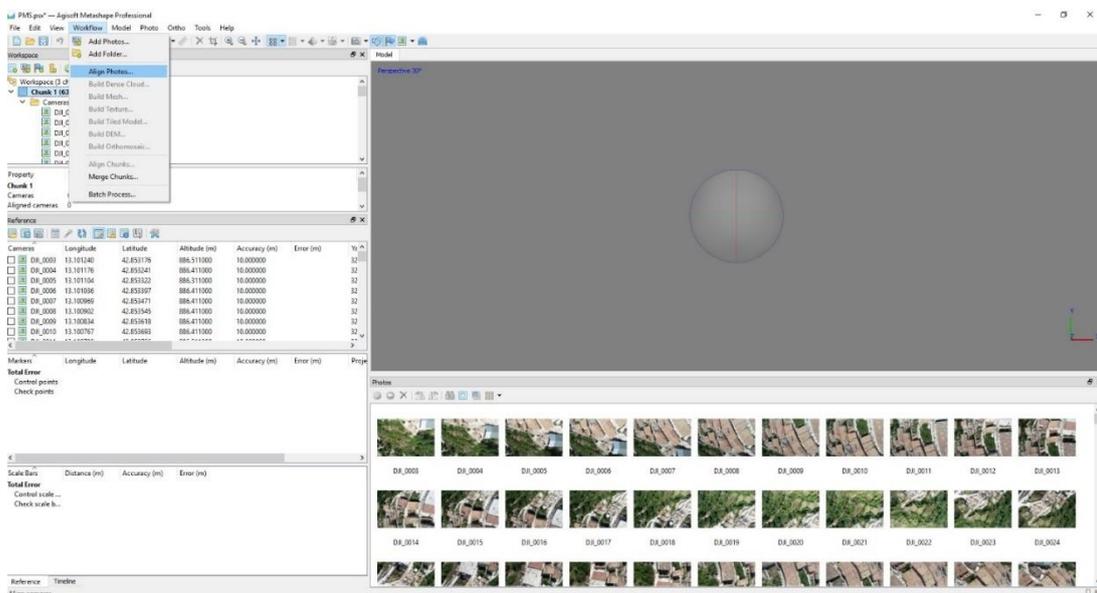


Fig. 61 – Align Photos

In questa fase *Photoscan* cerca i punti comuni sulle fotografie calcolando e determinando la posizione relativa della fotocamera per ogni immagine, affinandone i parametri. Completata la fase di allineamento, saranno visualizzate le posizioni calcolate della fotocamera e verrà resa visibile una nuvola sparsa di punti (figura 62).

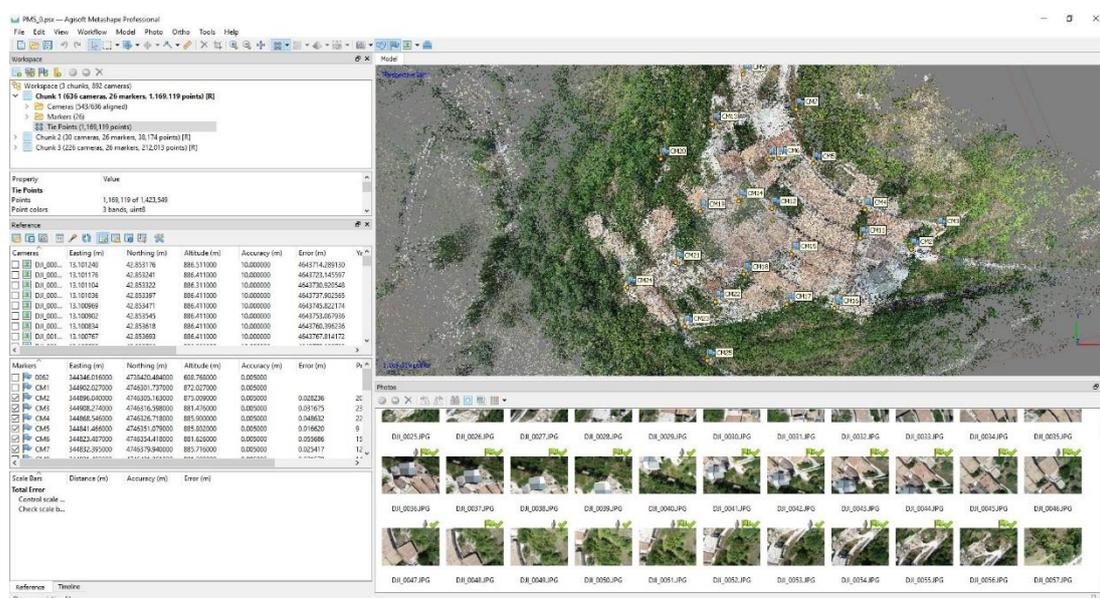


Fig. 62 – Nuvola sparsa di punti dopo l'allineamento

È possibile controllare i risultati dell'allineamento e rimuovere o disabilitare le foto con un posizionamento non corretto in quanto *Photoscan* fa una stima e segnala automaticamente la qualità di ogni immagine sulla base del livello di nitidezza della parte più a fuoco di essa. Il *software* suggerisce quanti dei fotogrammi analizzati risultano essere allineati e la verifica di tali valori è fondamentale poiché un'insufficienza di dati in ingresso, come ad esempio foto di scarsa qualità, possono influenzare negativamente i risultati dell'allineamento (figura 63).

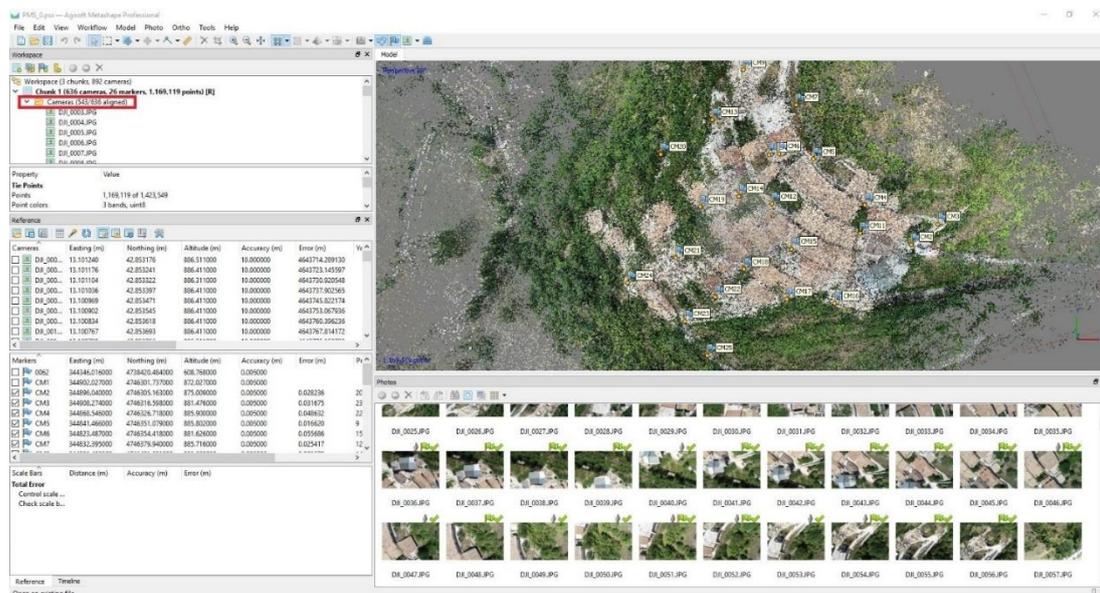


Fig. 63 – Numero foto allineate del Chunk 1

Controllando quali delle immagini risultassero non allineate, sono state disabilitate 93 immagini su 636, tramite il comando *Disable Items*.

5.1.2 Collimazione da Ground Control Point

Agisoft – Photoscan utilizza *marker* per specificare le posizioni all'interno dei fotogrammi. I *marker* sono utilizzati per la creazione di un sistema di coordinate, per un'ottimizzazione dell'allineamento delle fotografie, per misurare le distanze e i volumi all'interno della scena e come indicatori di base all'allineamento dei gruppi. Per definire un *marker* di posizione all'interno di un fotogramma, lo stesso deve essere presente su almeno due foto. Vi sono due approcci per il posizionamento dei *marker*: un posizionamento del *marker* manuale, il quale implica che le proiezioni del *marker* debbano essere indicate manualmente su ciascuna foto in cui il *marker* è visibile, e un posizionamento guidato, nel quale la proiezione del *marker* è specificata per una sola fotografia. In quest'ultimo metodo, il software automaticamente proietta il raggio corrispondente sulla superficie del modello e calcola le proiezioni del *marker* sul resto delle foto in cui il *marker* è visibile.

Nel caso studio è stato utilizzato il criterio di posizionamento guidato. Dopo aver posizionato i primi tre *marker* tramite il comando *Place Marker* tenendo sotto

controllo gli eidotipi di riferimento, le proiezioni dei *marker* definiti automaticamente sulle singole foto sono stati ulteriormente raffinate manualmente (figura 64).

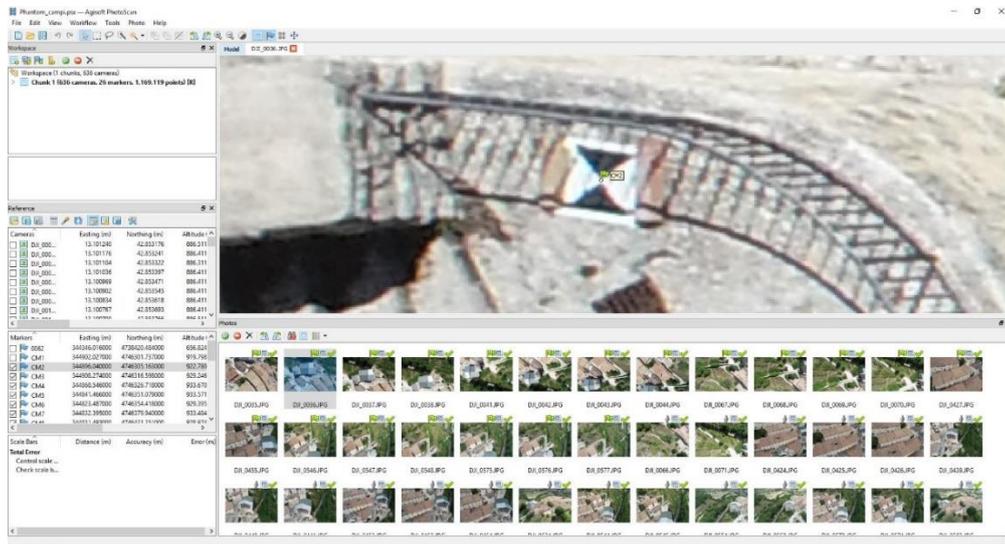


Fig. 64 – Esempio di marker

Tale procedimento è stato facilitato dal fatto che il *software* offre la possibilità di filtrare le foto in base al *marker* selezionato tramite il comando *Filter Photos by Marker* (figura 65). Ciò permette di avere in sequenza tutti i fotogrammi all'interno dei quali compare il *marker* che si sta collimando rendendo il procedimento più veloce e immediato.

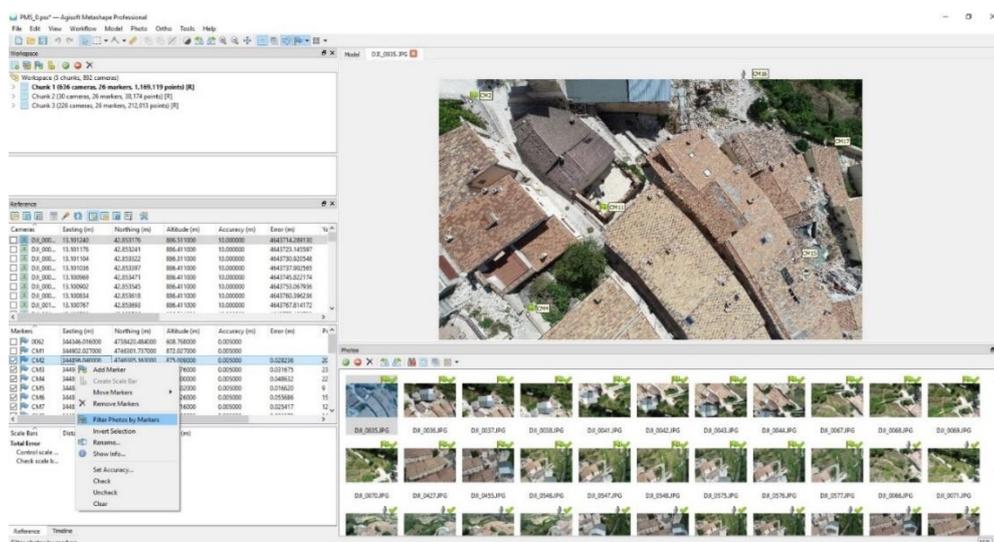


Fig. 65 – Filter Photos by Marker

Di seguito viene riportata un'immagine di esempio che mostra un fotogramma con inserite tutte le coordinate presenti associate al corretto *marker* (figura 66).

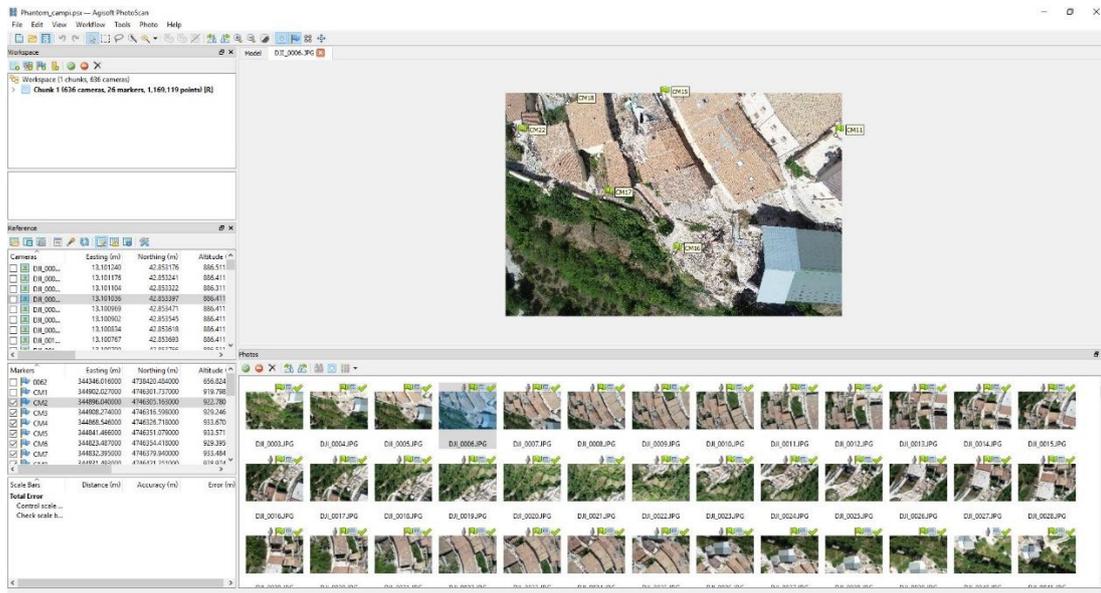


Fig. 66 – Esempio di fotogramma con marker posizionati

Il posizionamento guidato dei *marker* velocizza la procedura di collocamento degli stessi e riduce anche la possibilità di un suo errato posizionamento.

Durante l'operazione di allineamento delle foto, *Photoscan* stima i parametri di orientamento interni ed esterni della fotocamera. Questa stima viene eseguita utilizzando singolarmente i dati di ogni immagine, ma non esclude che le stime finali possano presentare alcuni errori. Il livello di precisione delle stime finali dipende da molti fattori come ad esempio la sovrapposizione tra le foto in successione, dalla forma della superficie dell'oggetto. Questi errori possono portare a deformazioni non lineari del modello finale. Le possibili deformazioni non lineari del modello possono essere rimosse attraverso l'ottimizzazione della stima dei parametri della fotocamera, basati sulle coordinate di riferimento note. Durante questa ottimizzazione *Photoscan* regola le coordinate dei punti stimati, minimizzando la somma degli errori dei parametri della fotocamera ed effettuando una riproiezione degli errori di disallineamento delle coordinate di riferimento. Per ottimizzare l'allineamento della fotocamera è stato utilizzato il comando *Optimize Cameras*. Nella finestra di dialogo che si apre, è

possibile eseguire un ulteriore controllo dei parametri da ottimizzare della camera, come mostrato in figura 67.

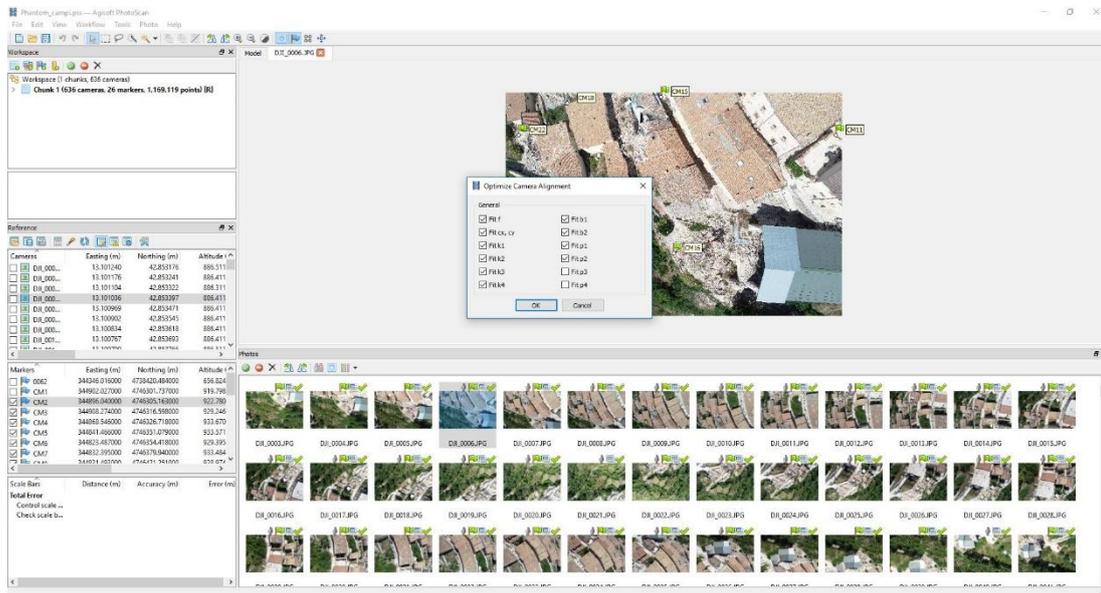


Fig. 67 – Optimize cameras

Completata l'ottimizzazione, verranno automaticamente aggiornati gli errori di georeferenziazione. In questo caso tale passaggio è risultato fondamentale in quanto, una volta posizionati tutti i *marker* sia di coordinate T che di coordinate CM, ci si è resi conto che l'errore stimato era di circa venti metri e quindi troppo elevato per la scala di riferimento cui si stava lavorando per la quale l'errore massimo avrebbe dovuto essere non superiore ai cinque centimetri. A tal proposito inizialmente si è proceduto con il riposizionamento dei *marker* con maggiore attenzione e con l'aggiornamento tramite il comando *Update* degli errori di georeferenziazione. Non notando alcun cambiamento nel valore dell'errore massimo, è stato effettuato un controllo successivo di coordinate che ha permesso di rendersi conto del fatto che le coordinate T non fossero corrette. A questo punto, sono stati eliminati tutti i *marker* riferiti al file di coordinate T, lasciando solo posizionati quelli del file di coordinate CM. Gli stessi passaggi appena descritti per quanto riguarda il *Chunk 1*, il quale contiene al suo interno i fotogrammi ripresi con il *Phantom*, sono stati ripetuti per il *Chunk 2* e per il *Chunk 3*. Anche per questi ultimi non sono stati utilizzati i *marker* con denominazione T. Utilizzando nuovamente il comando *Optimize Cameras*, questa

volta l'errore è risultato accettabile rispetto alla scala di rappresentazione scelta in quanto minore di cinque centimetri per tutti i *Chunk*. Nelle tabelle che seguono vengono riportati gli errori totali di ciascun *Chunk*. In particolare, rispettivamente:

- l'errore quadratico medio per la coordinata X per una posizione GCP;
- l'errore quadratico medio per la coordinata Y per una posizione GCP;
- l'errore per la coordinata Z per un posizione GCP;
- l'errore medio di tutte le posizioni GCP;
- l'errore quadratico medio per le coordinate X, Y su un'immagine per una posizione GCP.

Codice	Errore X (cm)	Errore Y (cm)	Errore Z (cm)	Totale (cm)	Immagine (pix)
CM10	0,16785	-3,83015	-0,0138256	3,83385	0,225 (17)
CM11	-2,53527	-2,12439	3,91941	5,12859	0,251 (22)
CM13	-1,3154	0,176533	4,16653	4,3728	0,142 (26)
CM14	2,87732	4,9694	0,326356	5,75156	0,225 (36)
CM16	-1,44512	-3,27407	2,63908	4,44664	0,186 (45)
CM17	2,46636	-0,992763	-0,251966	2,67058	0,186 (44)
CM18	-2,23721	-1,91391	0,0875019	2,94547	0,260 (39)
CM19	-2,06591	-0,1292	1,35003	2,47129	0,164 (31)
CM2	-0,151472	2,52884	1,247	2,82365	0,197 (20)
CM20	-0,284683	-2,08806	2,24373	3,0782	0,106 (27)
CM21	-0,346195	-1,05927	-3,30526	3,48807	0,204 (72)
CM22	-0,21518	1,5671	-1,39379	2,10826	0,254 (77)
CM23	1,15893	1,05798	-2,5866	3,02538	0,227 (64)
CM24	1,8901	-1,07914	-1,89338	2,88477	0,147 (4)
CM25	-3,40064	-0,822738	1,69367	3,88713	0,227 (33)
CM3	1,29593	1,42951	-2,51198	3,16749	0,169 (23)
CM4	-0,553331	4,24365	-2,30997	4,8632	0,253 (22)
CM5	-0,707891	-0,0479428	-1,50293	1,66199	0,185 (9)
CM6	0,844112	4,06538	-3,71073	5,5686	0,205 (15)
CM7	1,03691	0,99108	2,09829	2,5417	0,137 (12)
CM8	1,92815	-0,714074	-0,654496	2,15778	0,103 (14)
CM9	1,34119	-3,06093	-0,0252552	3,3419	0,112 (13)
Totale	1,65763	2,3744	2,20324	3,63865	0,208

Tab. 11 – Errore totale *Chunk 1* dal report di Photoscan

Codice	Errore X (cm)	Errore Y (cm)	Errore Z (cm)	Totale (cm)	Immagine (pix)
CM11	1,78548	0,348991	0,223261	1,83291	0,152 (6)
CM16	-0,327042	-0,806448	-0,395648	0,955956	0,578 (8)
CM2	-1,43736	0,476805	0,14053	1,52094	0,769 (12)

Totale	1,33677	0,577204	0,274638	1,488174	0,617
---------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	--------------

Tab. 12 – Errore totale Chunk 2 dal report di Photoscan

Codice	Errore X (cm)	Errore Y (cm)	Errore Z (cm)	Totale (cm)	Immagine (pix)
CM11	-1,23329	-2,41861	-1,11623	2,93541	0,924 (8)
CM16	-0,784461	1,22225	0,659342	1,59499	5,179 (8)
CM2	2,02982	1,20363	0,63456	2,44368	0,863 (25)

Totale	1,44413	1,71195	0,833342	2,38972	2,42
---------------	----------------	----------------	-----------------	----------------	-------------

Tab. 13 – Errore totale Chunk 3 dal report di Photoscan

5.2 Costruzione della nuvola di punti

La fase successiva al posizionamento dei *marker* è la costruzione della nuvola densa di punti. Sulla base delle posizioni di ripresa stimate delle camere infatti, *Photoscan* calcola le informazioni complete e necessarie per ogni fotocamera per combinarle in un'unica nuvola di punti densa che può essere modificata e classificata prima dell'esportazione o prima della generazione della *mesh* del modello tridimensionale. Tramite il comando *Build Dense Cloud* del menù *Workflow*, è stata lanciata l'elaborazione della nuvola densa di punti facendo attenzione a specificare la qualità di ricostruzione desiderata. Per il caso studio, si è deciso di lanciare la nuvola in qualità *medium* in quanto impostazioni di qualità più elevate possono essere utilizzate per ottenere soluzioni più dettagliate con una geometria più accurata ma richiedono più tempo per l'elaborazione (figura 68).

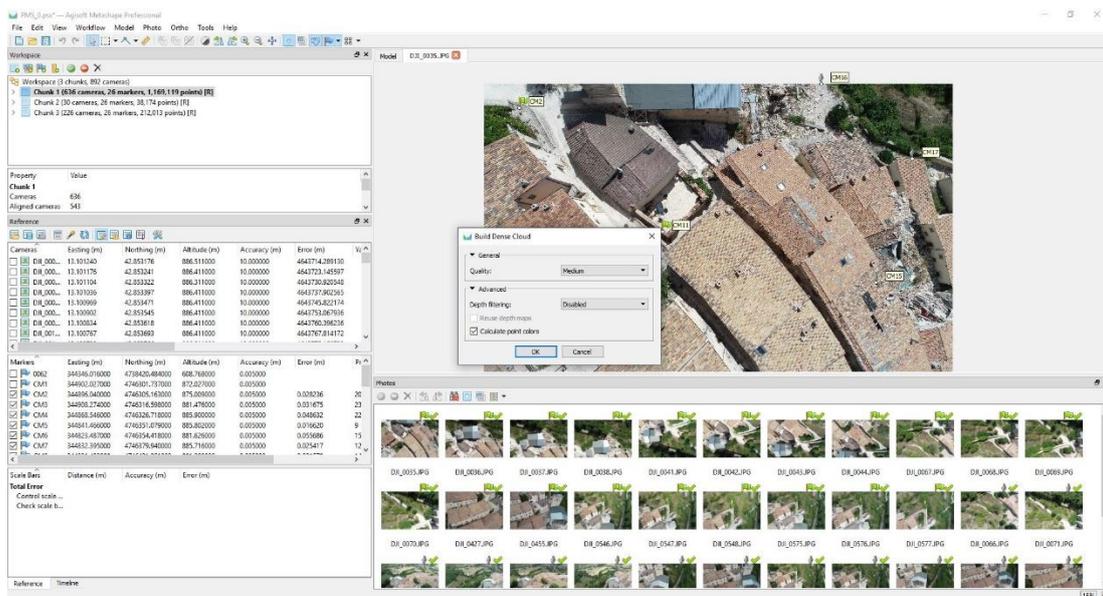


Fig. 68 – Build dense Cloud

Nella finestra di dialogo di avanzamento, verrà visualizzata l'indicazione dello stato attuale di elaborazione. Poiché durante la fase di generazione della nuvola *Photoscan* calcola le mappe di profondità per ogni immagine, il tempo necessario per concepire la nuvola densa in questione è stato di circa ventuno ore in quanto il numero di fotogrammi presente nel *Chunk 1* risultava essere alquanto elevato. Di seguito, nelle figure 69, 70, viene mostrato il risultato dell'elaborazione.

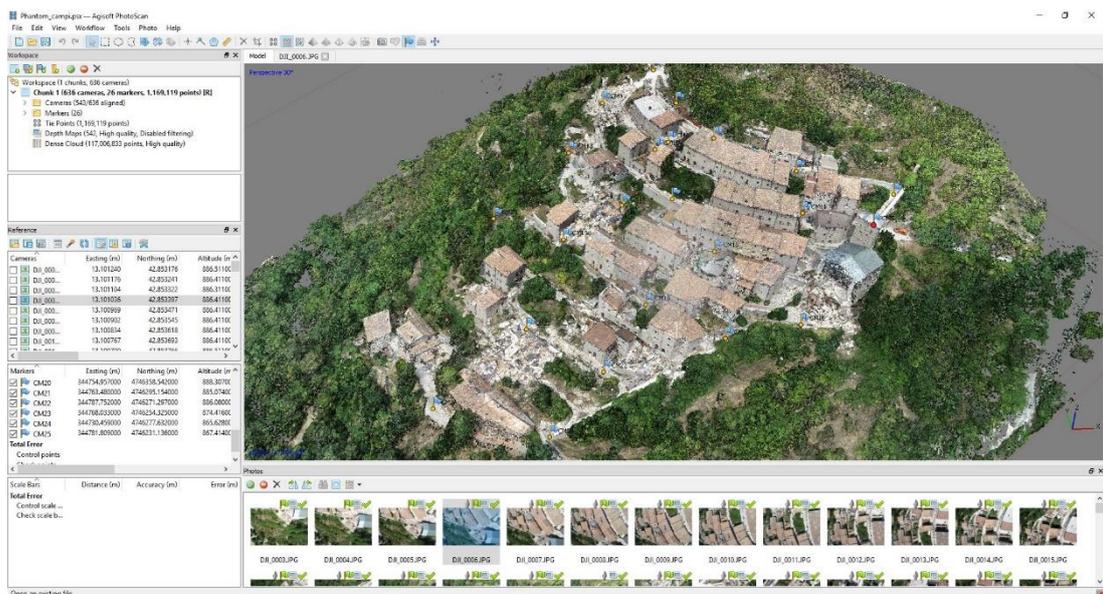


Fig. 69 – Nuvola densa vista generale generata dal Chunk 1

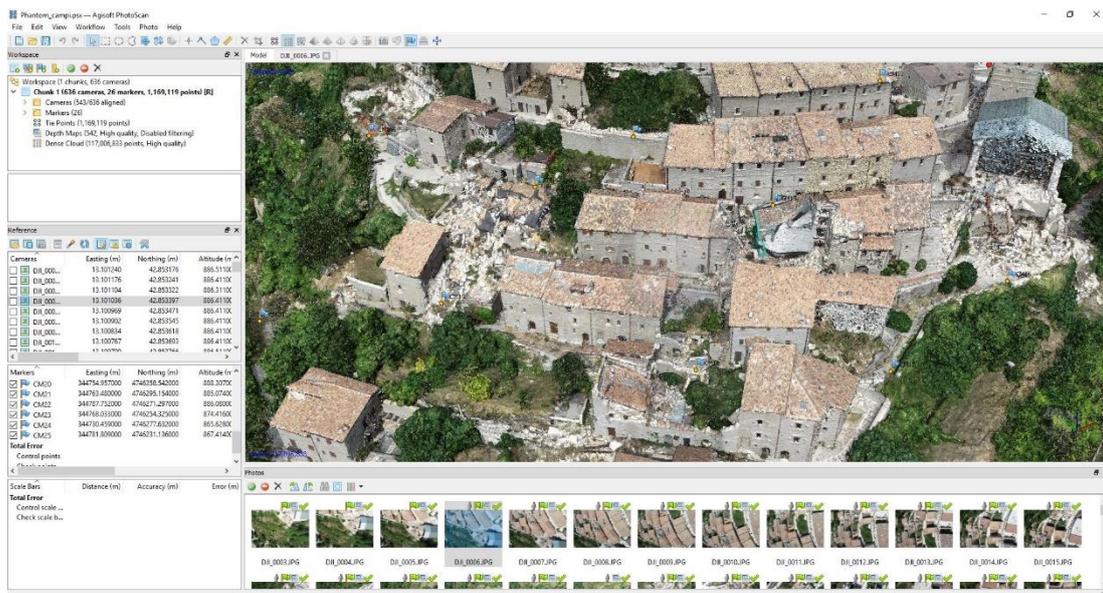


Fig. 70 – Nuvola densa vista di dettaglio generata dal Chunk 1

Lo stesso procedimento è stato utilizzato per la generazione delle nuvole dense di punti dei *Chunk 2* e *3*. Il tempo impiegato per la costruzione della nuvola densa è stato di dieci minuti per il *Chunk 2* e di circa quattro ore per il *Chunk 3*. Anche in questo caso entrambe le nuvole sono state lanciate in qualità *medium* (figure 71, 72).

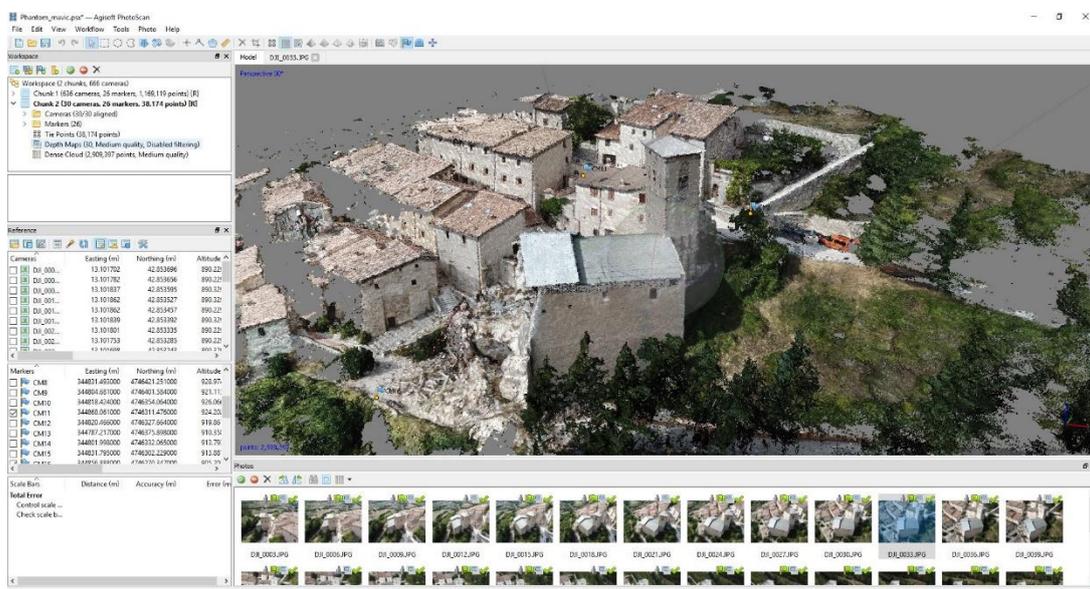


Fig. 71 – Nuvola densa generata dal Chunk 2

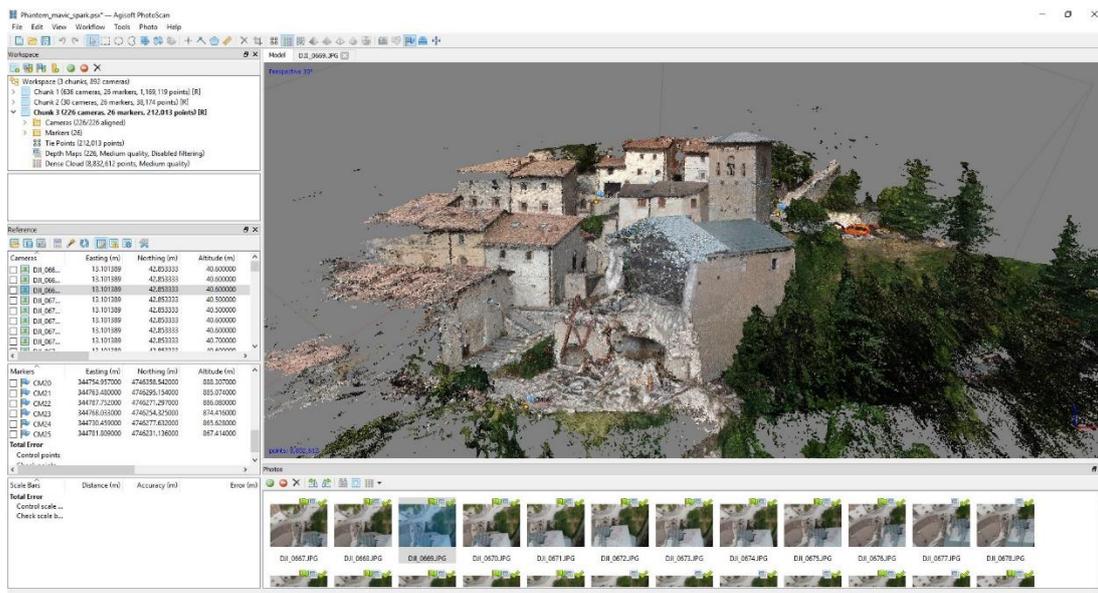


Fig. 72 – Nuvola densa generata dal Chunk 3

Tutte le nuvole dense di punti generate sono state esportate in formato *.e57* cliccando col destro su ciascuna *dense cloud* e selezionando il comando *Export Dense Cloud*.

5.3 Generazione della Mesh

La terza fase del procedimento vede come obiettivo quello di costruire la *mesh poligonale*, ovvero un reticolo che definisce un oggetto nello spazio, composto da vertici, spigoli e facce. *Photoscan* ricostruisce una *mesh poligonale 3D* che rappresenta l'oggetto basandosi sulla nuvola densa di punti ottenuta dal calcolo delle misure rilevate dalla superficie dell'oggetto fotografato. In questo caso, la *mesh* è stata creata per la nuvola densa di punti del *Merged Chunk* tramite il comando *Build Mesh* del menù *Workflow*. Nelle immagini a seguire, viene riportato il risultato ottenuto ripreso da diverse viste.

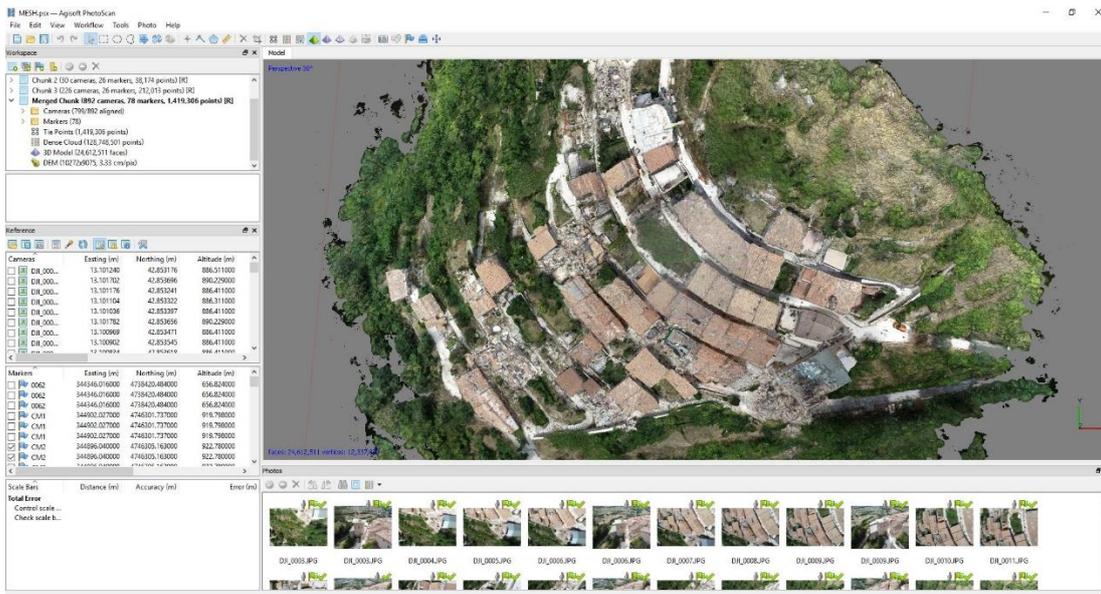


Fig. 73 – Mesh vista dall'alto del Merged Chunk

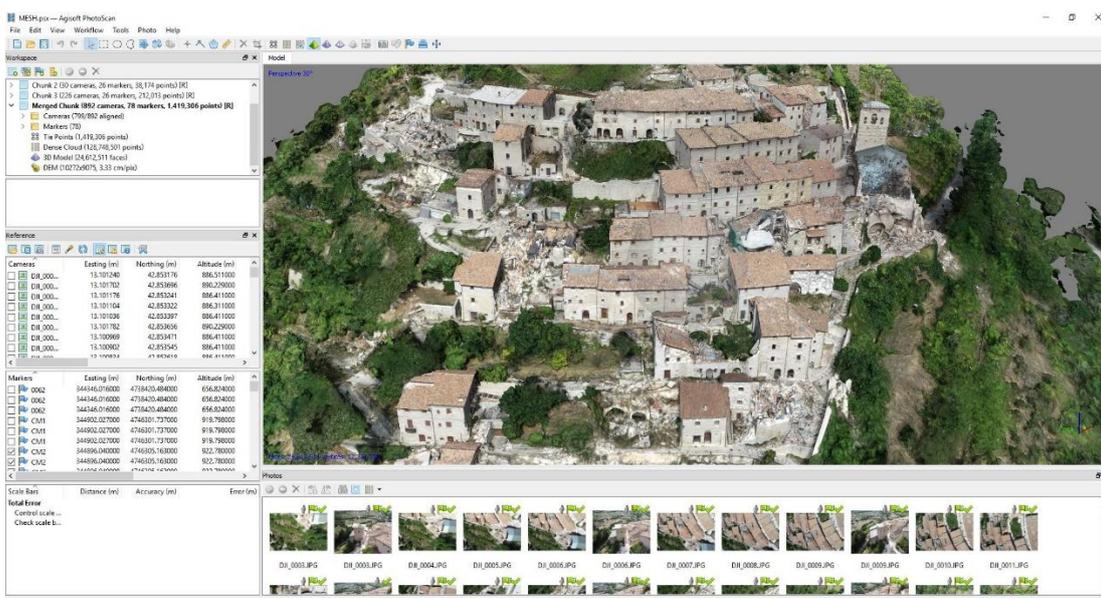


Fig. 74 – Mesh vista frontale del Merged Chunk

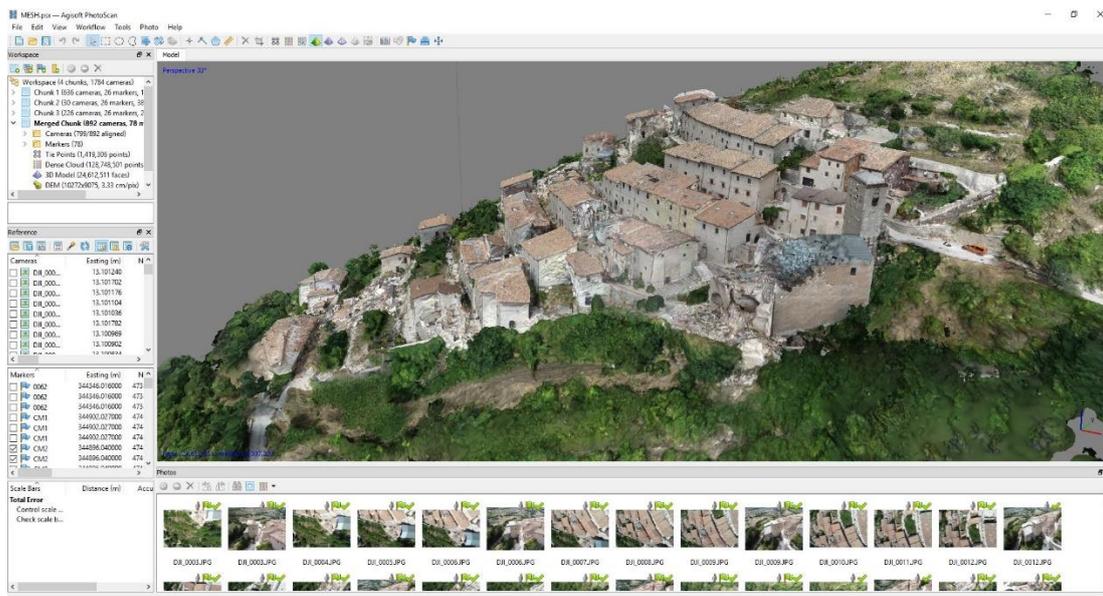


Fig. 75 – Mesh vista laterale destra del Merged Chunk

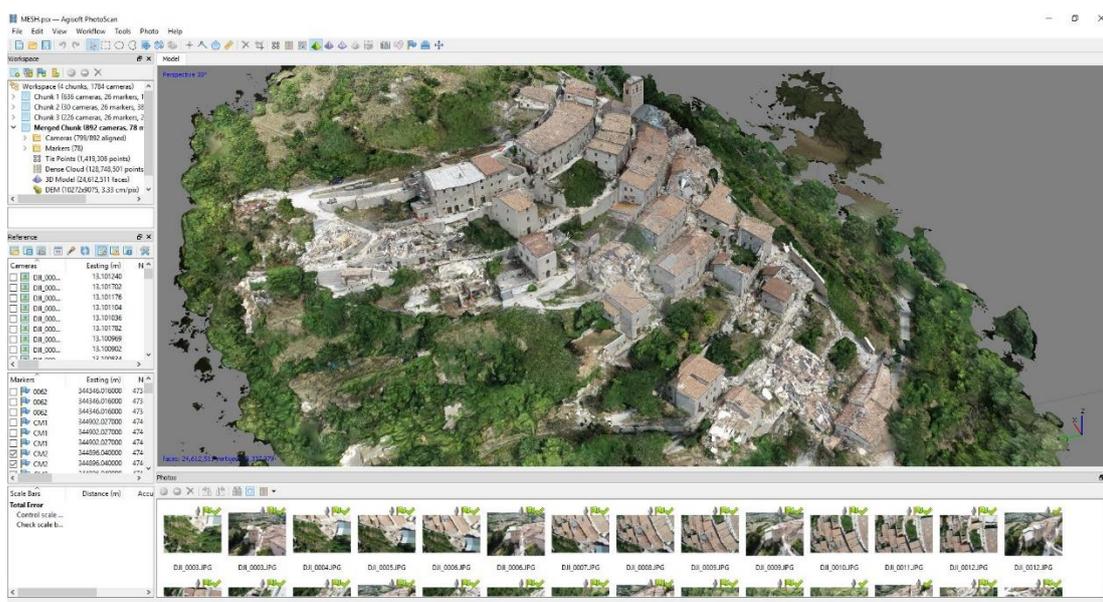


Fig. 76 – Mesh vista laterale sinistra del Merged Chunk

5.4 Modello Digitale di Elevazione e Ortofoto

Uno degli obiettivi principali di questo elaborato risulta essere la costruzione di un modello tridimensionale di Campi Alto utilizzando diversi metodi e scegliendo alla fine quello più veloce e completo. A tal proposito è necessario conoscere le coordinate

altimetriche di ciascun punto al fine di assegnare a ogni vertice disegnato la sua corretta elevazione e avere a disposizione un'immagine generale ad alta risoluzione.

5.4.1 Costruzione del DSM

Grazie a *Photoscan* è stato possibile costruire un *Digital Elevation Model (DEM)*, ovvero una rappresentazione digitale dell'elevazione della superficie terrestre rispetto a un dato di riferimento. Selezionando il comando *Build DEM* dal menù *Workflow*, è stato impostato inizialmente il sistema di coordinate WGS 84 / UTM zone 33N per il DEM e successivamente sono stati scelti i parametri di partenza per la rasterizzazione di esso, ovvero la nuvola densa di punti del *Merged Chunk* (figura 77).

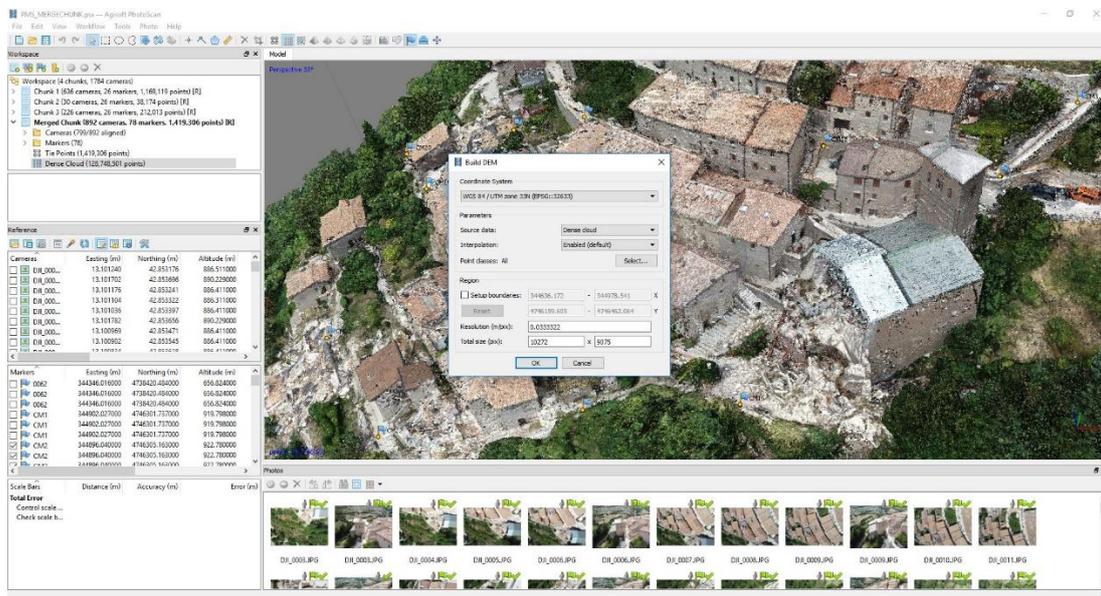


Fig. 77 – Impostazione dei parametri per la costruzione del DEM

Il tempo impiegato per la costruzione del DTM, di risoluzione 5,8 cm/pix, è stato di 37 secondi. Completata l'elaborazione dei dati, il risultato ottenuto mostrato in figura 78, è stato esportato in formato *.tif* al fine di renderlo compatibile con il programma che verrà poi utilizzato per la sua lettura.

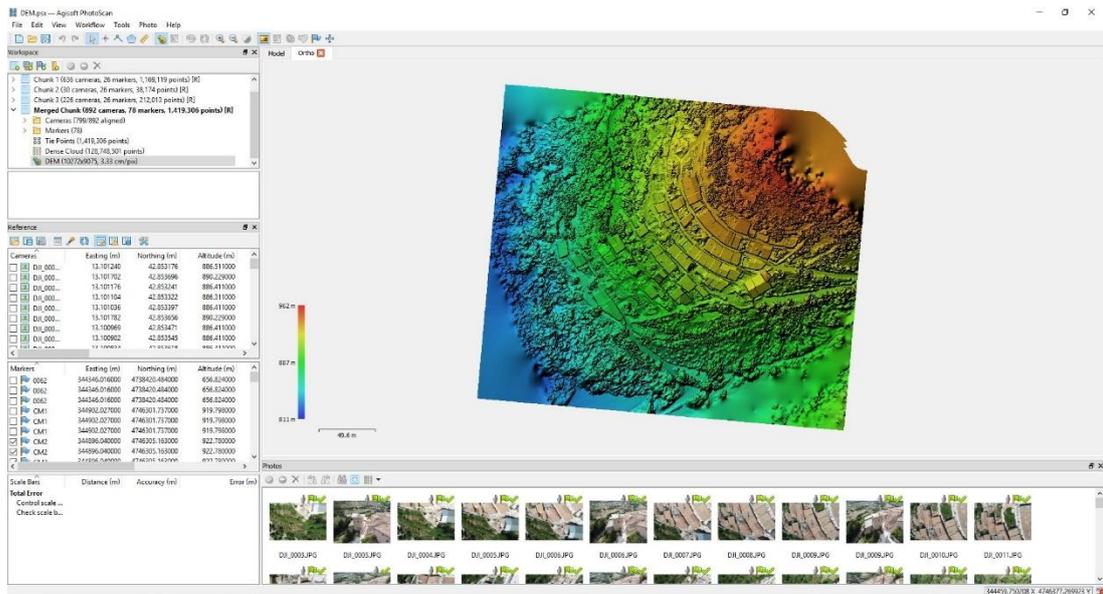


Fig. 78 – DSM

5.4.2 Costruzione Ortofoto

Una volta generato il Modello Digitale di Elevazione, *Photoscan* permette di creare fotogrammi di elevata risoluzione sulla base dell'elaborazione dei dati DTM. Ciò è possibile grazie al comando *Build Orthomosaic* nel menù fisso *Workflow* del software (figura 79).

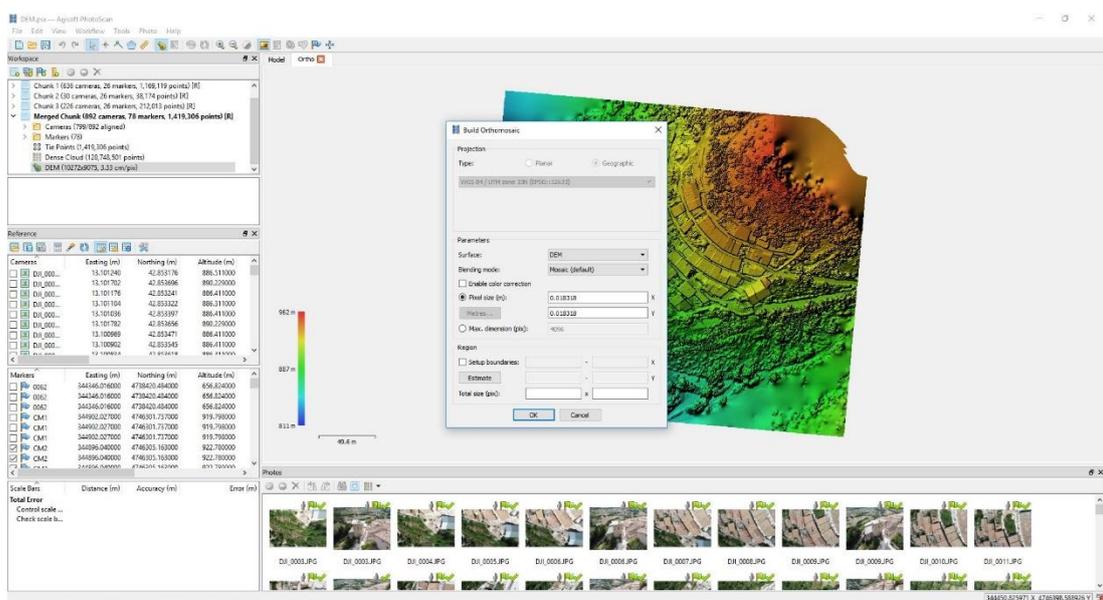


Fig. 79 – Impostazione dei parametri per la costruzione dell'Ortofoto

Il tempo impiegato per la realizzazione dell'Ortofoto di risoluzione 1,45 cm/pix, è stato di circa 25 minuti. Completata l'elaborazione dei dati, il risultato ottenuto mostrato in figura 80, è stato esportato in formato *.tif* al fine di renderlo compatibile con il programma che verrà poi utilizzato per la sua lettura.

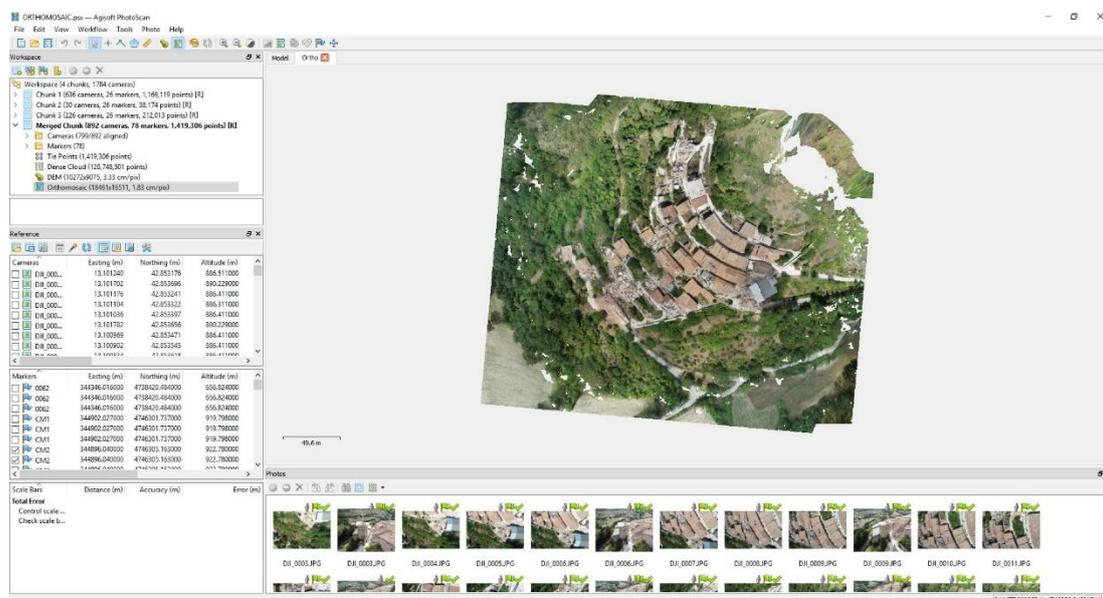


Fig. 80 – Ortofoto

5.5 Generazione DTM dal Geoportale

Il DSM ottenuto da *Photoscan* rappresenta la superficie terrestre comprensiva di alberi, edifici e altri manufatti. Per generare invece il DTM della zona interessata dallo studio, ovvero l'andamento della superficie del suolo senza elementi antropici o vegetali, si è scelto di utilizzare i dati forniti dal Geoportale della regione Umbria. Il Geoportale è un'infrastruttura di dati geografici dedicata alla condivisione delle informazioni territoriali. Si tratta di una cartografia online tramite la quale è possibile, mediante una piattaforma web, ricercare, visualizzare e accedere a informazioni geospaziali e a servizi specifici descritti dai metadati⁵⁸. Accedendo al Geoportale e inserendo nella barra di ricerca la parola chiave *Carta Tecnica Regionale*, è stato possibile scaricare la Carta Tecnica Regionale della regione Umbria in scala 1: 10.000

⁵⁸ <http://www.umbriageo.regione.umbria.it/>

in formato vettoriale. Per individuare la zona d'interesse è stato necessario consultare l'inquadramento della cartografia regionale su base topografica riportato in figura 81.

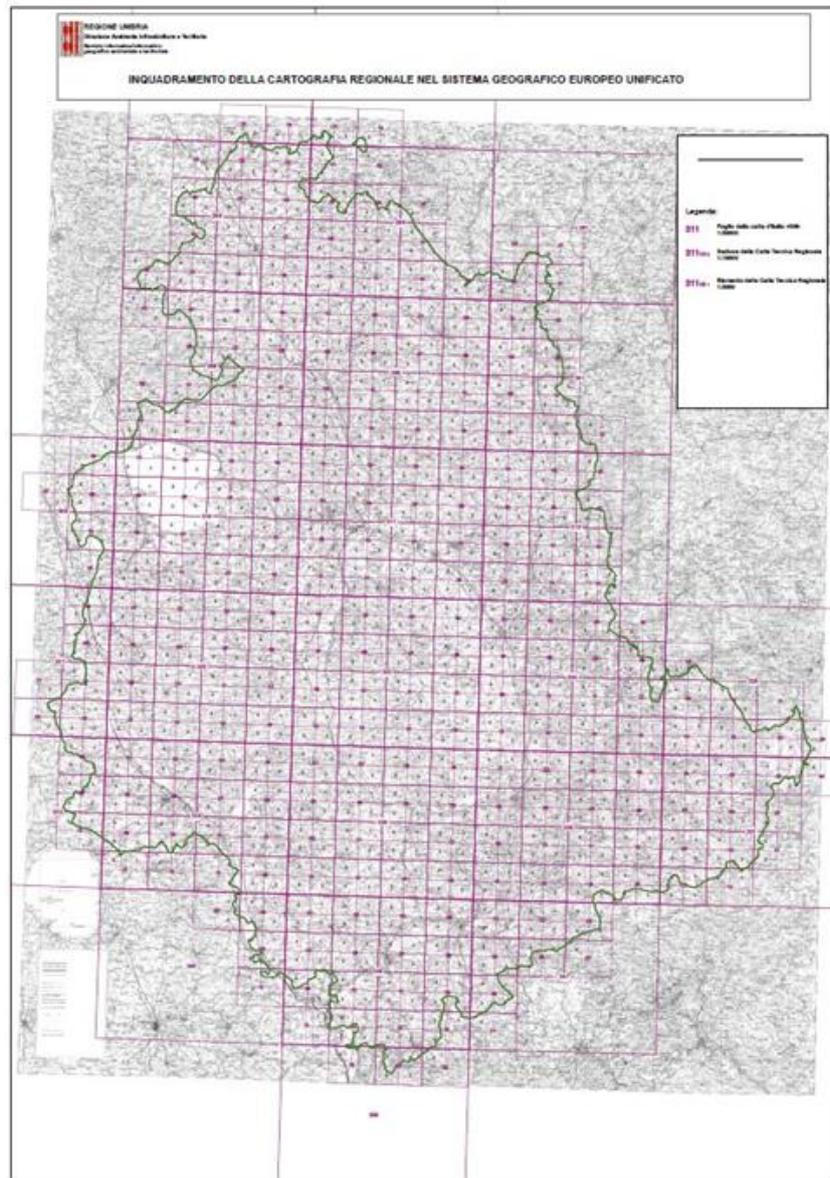


Fig. 81 – Inquadramento territoriale

La zona in cui si trova Campi risulta essere nella sezione 325_10_0 in scala 1: 10.000 come mostrato in figura 82.



Fig. 82 – Circoscrizione Campi Alto

Per completezza si è scelto di scaricare dal Geoportale non solo la sezione contenente Campi Alto, ma anche quelle circostanti al fine di avere una visione più completa del territorio. In particolare, oltre alla sezione 325100, sono state scaricate anche le sezioni 325090, 325130 e 325140. A questo punto, poiché i file scaricati avevano come sistema di riferimento quello *Gauss-Boaga*, e quindi un sistema di coordinate non coerente con quello utilizzato durante le elaborazioni precedenti ovvero WGS 84 / UTM zone 33N, è stato necessario effettuare una trasformazione di coordinate.

5.5.1 Conversione delle coordinate da Gauss-Boaga a WGS 84

Per effettuare la trasformazione delle coordinate dal sistema di riferimento Gauss-Boaga al WGS 84, è stato utilizzato due programmi differenti: *ArcMap 10.6* e *ConveRgo*. È necessario specificare che per rendere editabili i file vettoriali della Carta Tecnica regionale in ambiente GIS, si devono trasformare le estensioni *.dwg* o *.dxf* in *shapefile*, ovvero il formato vettoriale per sistemi informativi geografici. Gli *shapefile* descrivono spazialmente punti, poligoni, polilinee utilizzabili per la rappresentazione di punti in carta. A ciascun elemento inoltre, possono essere associati ulteriori attributi che vengono registrati all'interno di un *database*. È stato caricato in *Arcmap 10.6* il file in formato *.dxf* di ciascuna zona scaricata dal Geoportale come descritto nel paragrafo precedente. Si è iniziato dalla sezione contenente al suo interno Campi Alto come mostrato in figura 83.

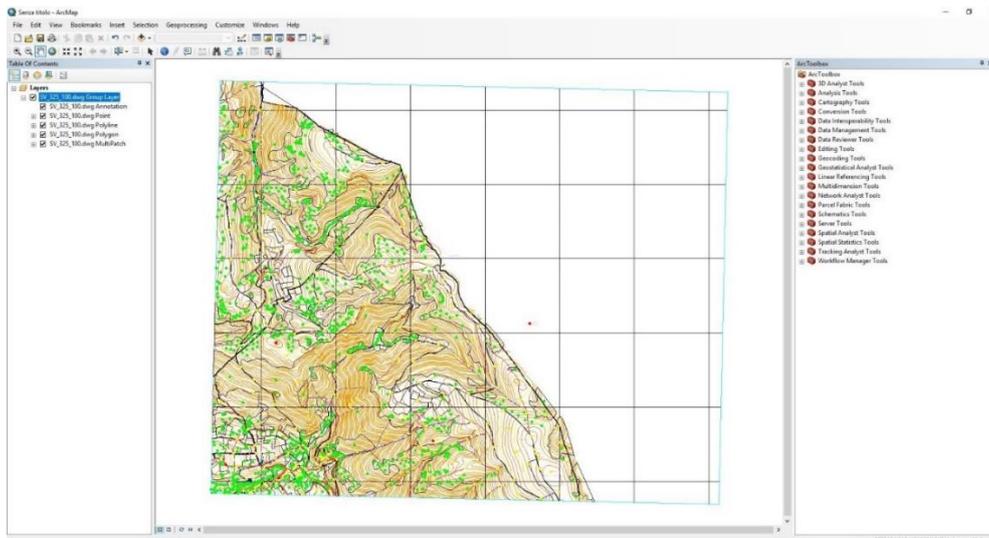


Fig. 83 – Sezione 325100

Insieme al file *.dxf* della sezione interessata, è stato fornito un file *excel* contenente al suo interno le specifiche di riferimento, ovvero l'elenco dei *layer* utilizzati tramite codice e descrizione codice. Grazie a questo file è stato possibile sapere quale *layer* andare a selezionare in *ArcMap* al fine di generare il DTM. Il *layer* in questione è il numero 8030 dei punti quotati.

Mantenendo acceso quindi il *layer point* in *ArcMap 10.6* e cliccando col destro su di esso, selezionando dal menù a tendina il comando *Open Attribute Table*, è stato possibile evidenziare tutti i punti con codifica 8030 come mostrato in figura 84.

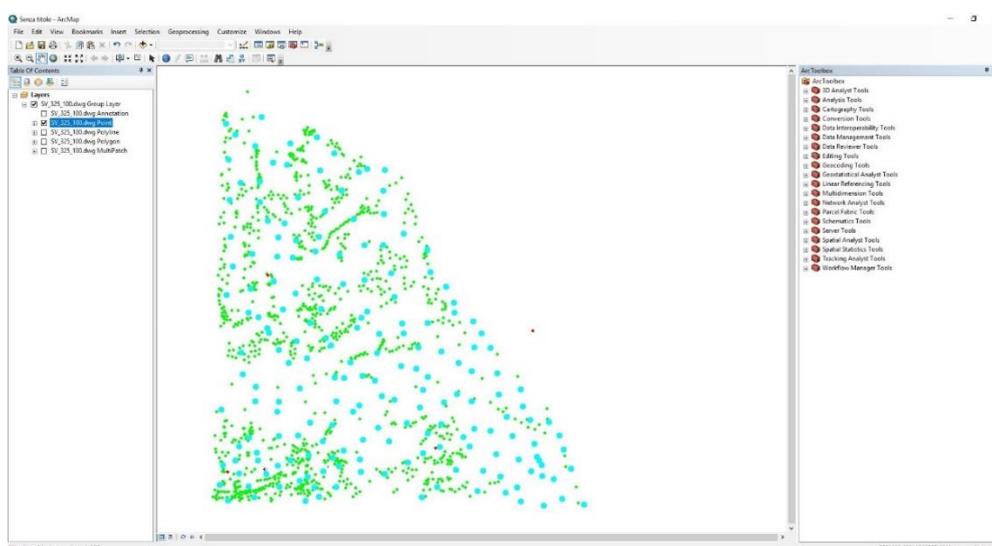


Fig. 84 – Selezione del layer 8030 dei punti quotati

Una volta selezionati i punti interessati, è stato creato uno *shapefile* con denominazione *8030_325100*, formato compatibile con il *software* utilizzato per la trasformazione di coordinate, *ConveRgo*. Caricato lo *shapefile* dei punti quotati tramite il comando *Seleziona file*, è stato necessario selezionare nella sezione *input* le coordinate riferite al file caricato quindi *Gauss-Boaga* e nella sezione *output* il sistema di riferimento in cui si voleva convertire il file ovvero *ETM-ETRF2000* con fuso di proiezione 33 (figura 85).

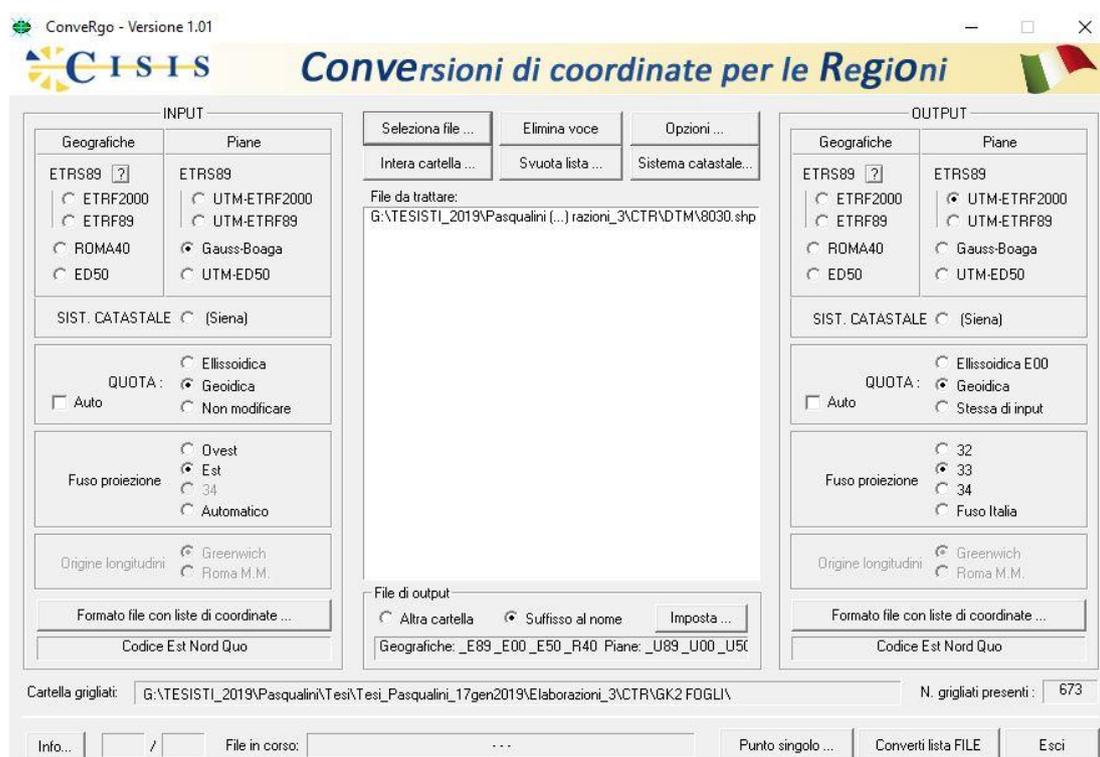


Fig. 85 – ConveRgo

Prima di convertire il file si è scelto tramite il comando *Opzioni*, l'utilizzo della funzione *SOLO GRIGLIATI*, i quali sono stati forniti direttamente dal docente. In questa modalità *ConveRgo* trasforma solo se c'è il grigliato della zona di interesse, altrimenti interrompe l'elaborazione. I grigliati IGM (Istituto Geografico Militare) possono essere di due tipologie: GK1 e GK2. Nel caso specifico sono stati utilizzati quelli GK2, i quali includono al loro interno il geoide ITALGEO2005. I grigliati GK1, includono invece il modello di geoide ITALGEO99. La differenza sostanziale tra i due sta nella precisione che si ottiene nella trasformazione tra le altezze ellissoidiche e le

quote ortoetriche. In particolare, gli scarti quadratici medi normalizzati sono di circa $\pm 0,15$ metri per ITALGEO99 e di circa $\pm 0,04$ metri per ITALGEO2005⁵⁹.

A questo punto è stato possibile convertire il file nel sistema di riferimento desiderato tramite il comando *Converti lista FILE*. Automaticamente nella cartella di riferimento è stato creato un nuovo *shapefile* con qualificazione *8030_U00-33*. Il procedimento appena descritto è stato ripetuto per gli altri *.dxf* scaricati dal Geoportale relativi alle zone limitrofe. A questo punto è stato necessario definire le proiezioni dei nuovi *shapefile* tramite *ArcMap 10.6*. Tramite il comando *Define Projection* della *Toolbox* nella sezione *Projections and Transformations*, nella finestra di dialogo è stato inserito come *input dataset* lo *shapefile 8030_U00-33* e come sistema di coordinate è stato scelto WGS 1984 UTM ZONE 33N. È stata dunque generata automaticamente la proiezione in formato *.prj* dello *shapefile* inserito. Passo successivo è stato quello di attribuire il giusto sistema di riferimento al foglio di lavoro in *ArcMap 10.6* tramite il comando *Data Frame Properties* del menù fillo *View*. Il *software* offre due possibilità di scelta che sono sistemi di coordinate geografici o sistemi di coordinate proiettati. Nel caso in esame si è scelto come sistema di coordinate quello proiettato, in particolare WGS 1984 emisfero nord fuso 33. Eseguiti questi passaggi necessari al fine di avere un corretto sistema di riferimento coerente tra tutti i file da utilizzare, è stato possibile caricare in *ArcMap 10.6* gli *shapefile* dei punti quotati e generare il DTM.

5.5.2 Generazione del DTM

Un *Digital Terrain Model DTM*, è un modello digitale del terreno costruito da una superficie topografica. Al fine di ottenere, dai dati scaricati dal Geoportale, un DTM complessivo della zona oggetto del caso studio, è stato necessario prima creare un *shapefile* unico contenente al suo interno tutti i punti selezionati come descritto nel sottoparagrafo precedente (figura 86).

⁵⁹ <https://3dmetrica.it/convergo/>

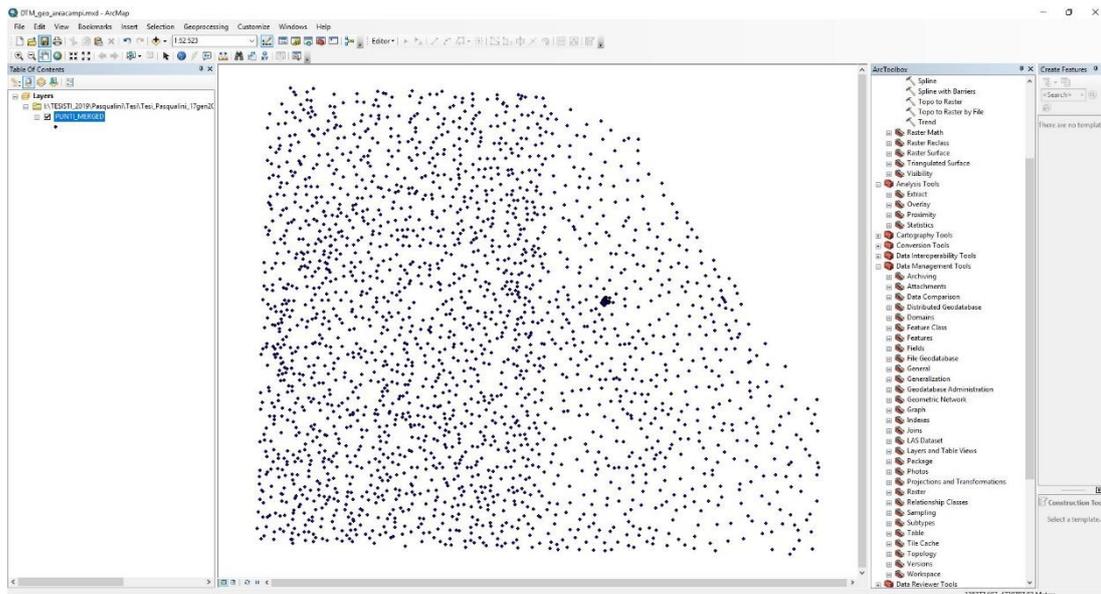


Fig. 86 – Shapefile unico layer 8030

Uno dei metodi più utilizzati per la generazione del DTM tramite *ArcMap 10.6* è quello del *Natural Neighbour* ovvero del punto naturale più vicino. Tale metodo consiste nell'assegnare a ogni punto del dominio il valore del punto campionato più vicino. Questo approccio è molto semplice infatti come mostrato in figura 87, dal *Toolbox*, nella sezione *Raster Interpolation* si utilizza il comando *Natural Neighbour* andando a inserire nella sezione *input point features* lo *shapefile* interessato, in questo caso *8030_u00-33* e scegliendo come *Z value field* l'elevazione. Questo vuol dire che il *software* andrà ad associare a ogni punto la sua elevazione in modo tale da generare il DTM.

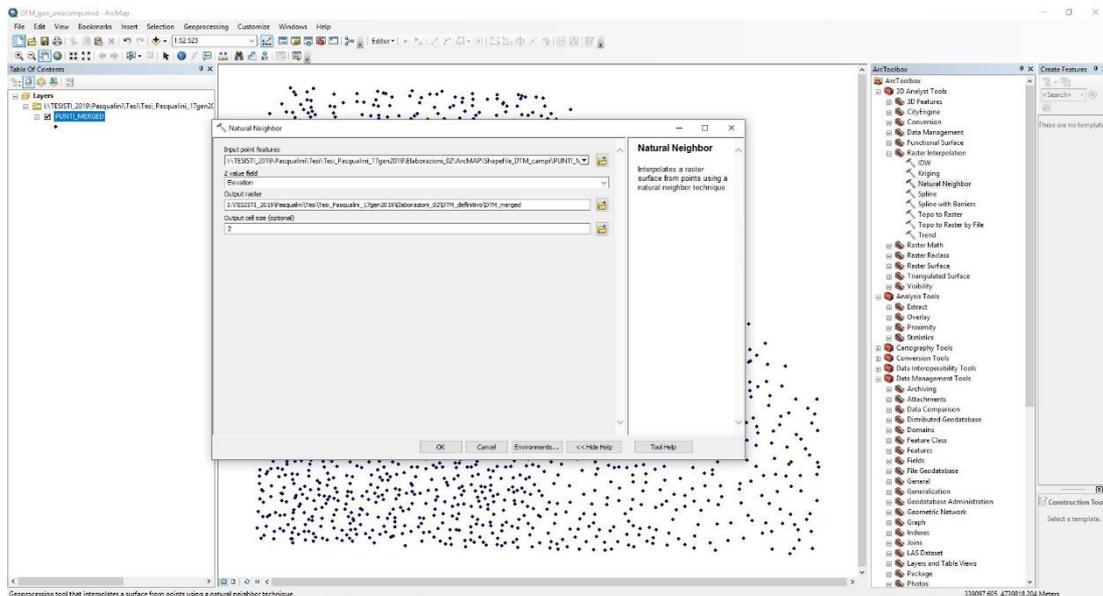


Fig. 87 – Natural Neighbour

In figura 88 è possibile osservare il DTM generato.

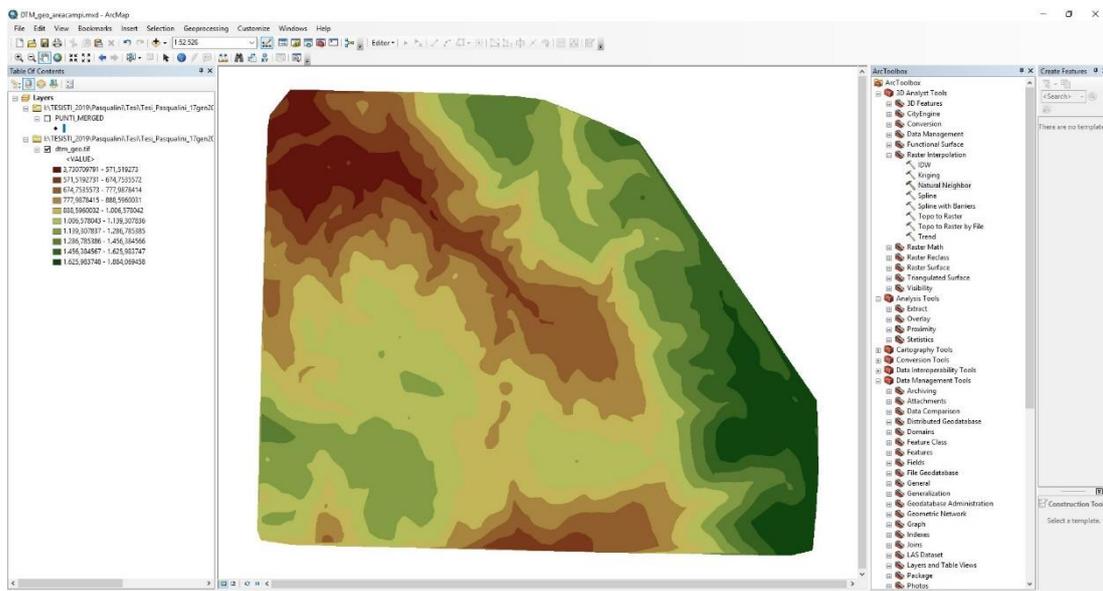


Fig. 88 – DTM

5.5.3 Analisi dei risultati

Al fine di verificare la corretta posizione del DSM generato con *Photoscan*, è stata importante su *ArcMap 10.6* la Mappa Topografica Mondiale (figura 89).

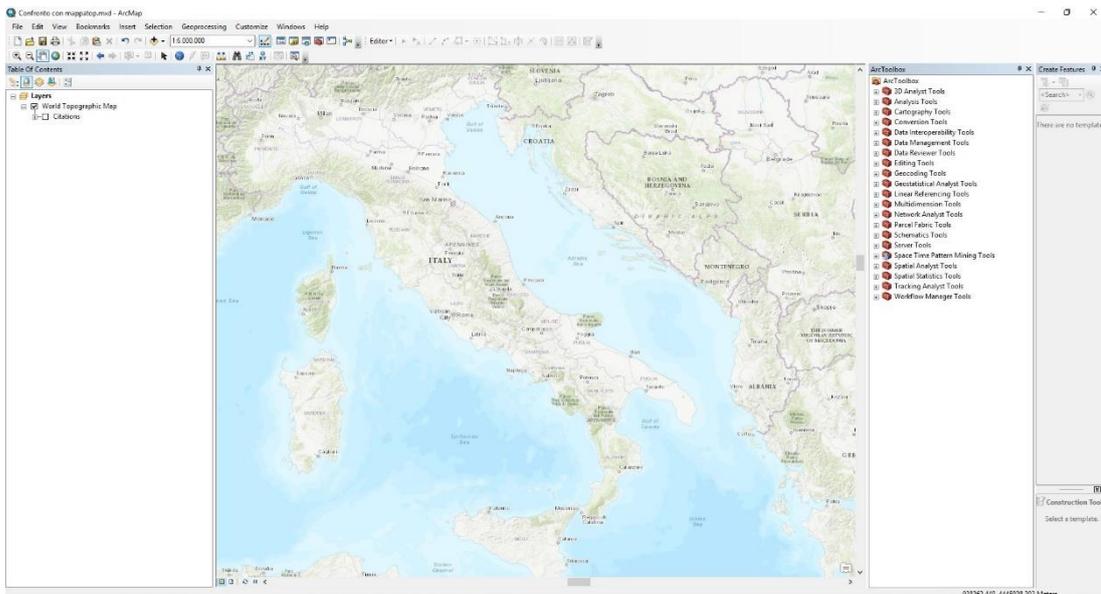


Fig. 89 – Mappa Topografica Modiale

A questo punto è stato caricato il DSM ottenuto da *Photoscan* che, se nel sistema di riferimento corretto, sarebbe stato automaticamente posizionato nella zona di Campi. Come mostrato in figura 90, si può affermare che il lavoro è stato eseguito correttamente in quando il DSM si trova nella posizione esatta rispetto alla Mappa Topografica.

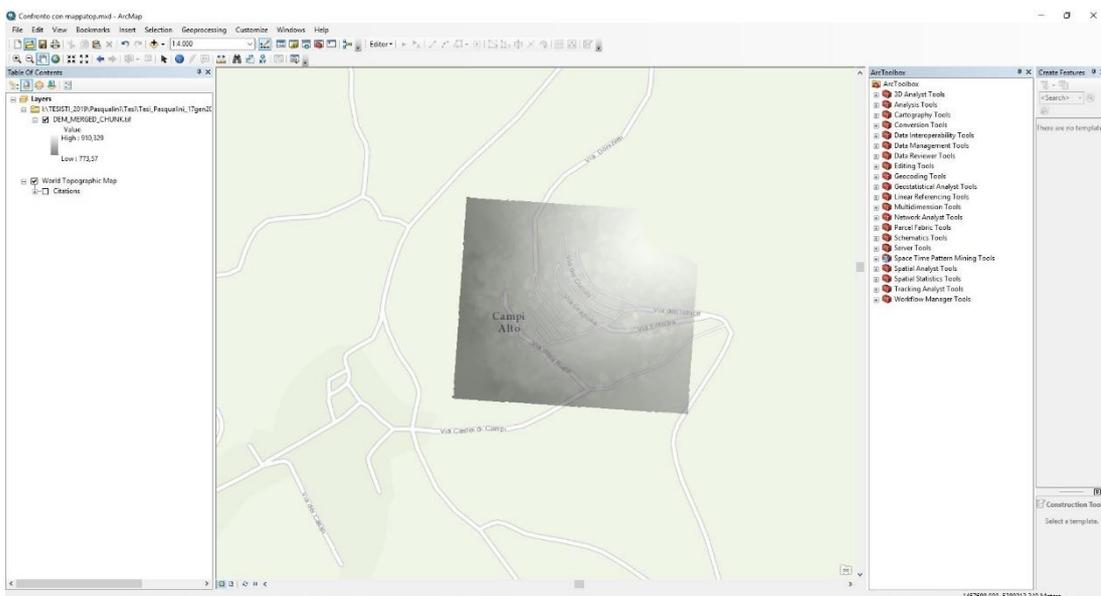


Fig. 90 – Sovrapposizione DSM con la Mappa Topografica Mondiale

5.6 Preparazione nuvola densa di punti

Ottenuta la nuvola densa di punti corretta, si è proceduto con la sua pulitura, passaggio necessario al fine di renderla più leggera in previsione della sua modellazione su *AutoCAD*. Quando si espone la *dense cloud* da *Photoscan* infatti, questa presenta numerosi punti superflui che la appesantiscono.

5.6.1 CloudCompare

Per effettuare la pulizia della nuvola, è stato utilizzato il *software CloudCompare*, un programma *open-source* di elaborazione di nuvole di punti il quale fornisce una insieme di strumenti di base per *editing* e *rendering* di queste ultime. Inizialmente è stata importata la nuvola densa di punti ottenuta con *Photoscan* come mostrato in figura 91.

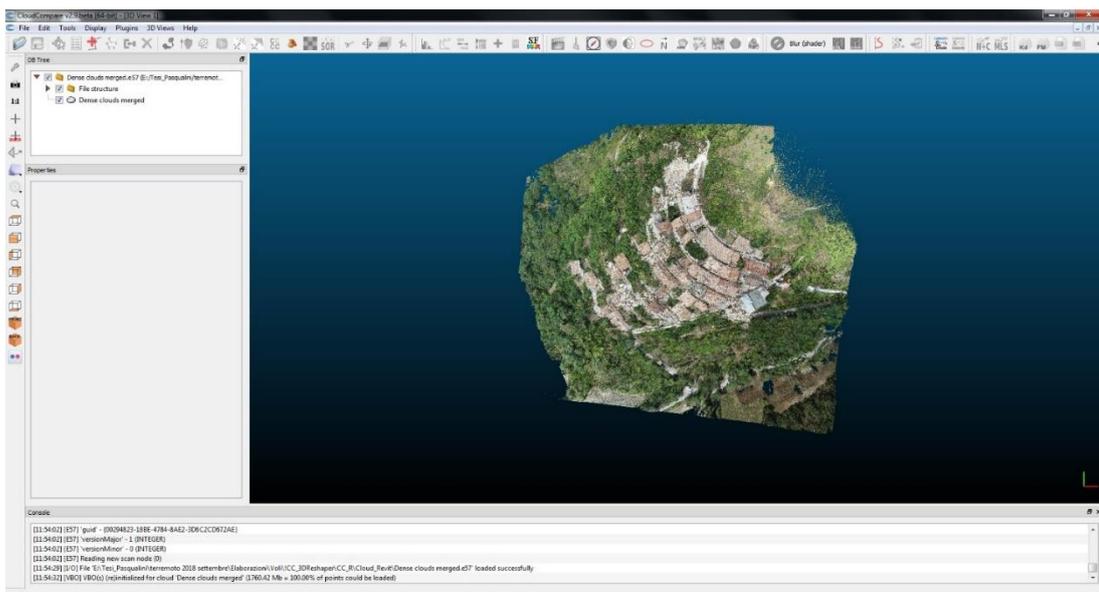


Fig. 91 – Importazione della nuvola densa in CloudCompare

Per semplificare la nuvola è stato in un primo momento utilizzato il comando *subsample* il quale permette di scegliere la modalità di alleggerimento tra tre opzioni: *random*, *space* e *octree*. Nel caso specifico si è deciso di utilizzare il metodo spaziale selezionandolo dal menù a tendina. Tale comando implica la scelta della distanza minima che si vuole mantenere tra un punto della nuvola e l'altro in modo tale che

l’algoritmo di semplificazione elimina i punti dalla nuvola in modo che nessun punto rimasto sia più vicino a quelli adiacenti della distanza minima scelta., in questo caso 0.01 metri come mostrato in figura 92.

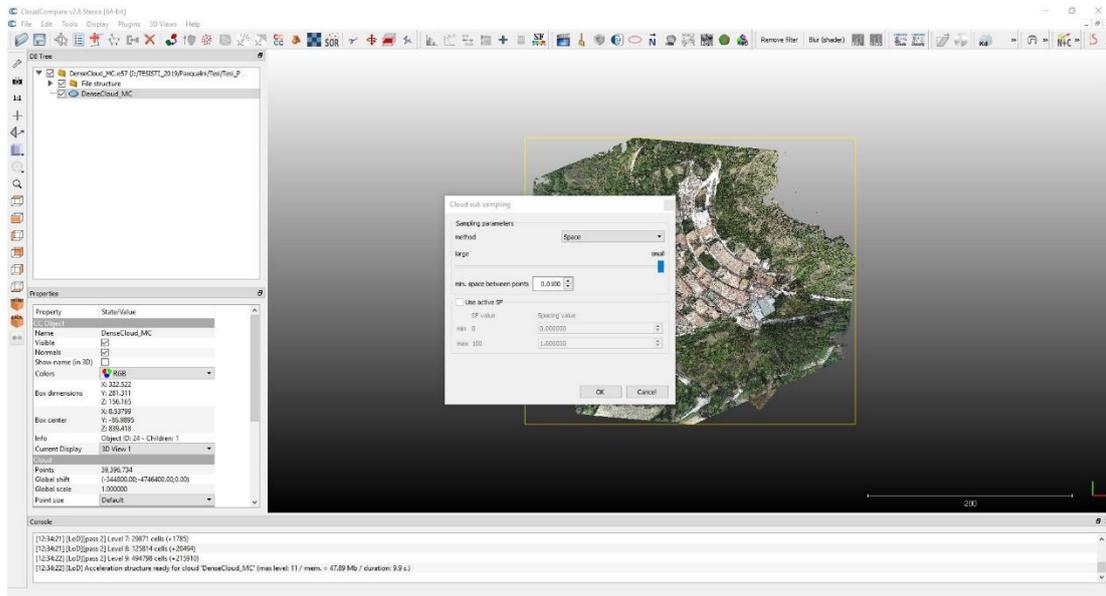


Fig. 92 – Alleggerimento della nuvola densa

Al termine della procedura di semplificazione, *CloudCompare* aggiunge una nuvola di punti semplificata nel pannello *DB Tree* (figura 93)

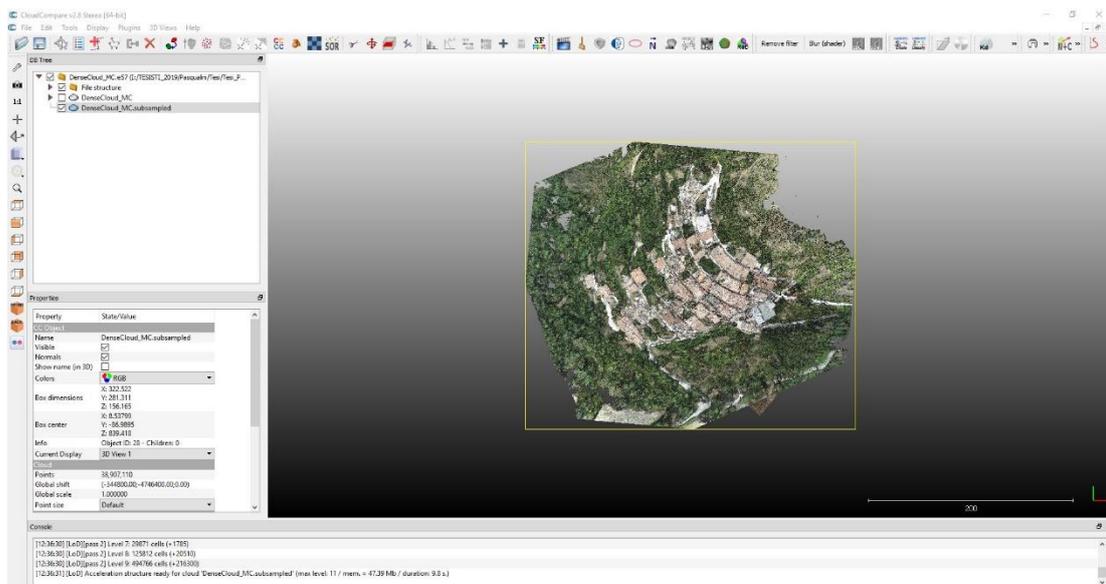


Fig. 93 – Nuvola alleggerita

Oltre a questo criterio automatico, *CloudComapre* permette di effettuare una pulizia manuale della nuvola stessa. Tramite il comando *Segment* sono stati eliminati i punti prevalentemente di verde che circondavano il centro abitato.

5.6.2 ReCap 360

Al fine di lavorare più comodamente alla modellazione tridimensionale del modello, si è pensato di suddividere la nuvola di punti alleggerita in undici differenti regioni seguendo la divisione naturale di Campi Alto che si sviluppa su una serie di vie principali dall'alto verso il basso (figura 94).



Fig. 94 – Schema della suddivisione in undici regioni

Per ottenere questi blocchi, è stato utilizzato il software *Autodesk ReCap*. Di seguito vengono riportate le immagini di ogni sezione realizzata.



Fig. 95 – Regione 1



Fig. 96 – Regione 2



Fig. 97 – Regione 3



Fig. 98 – Regione 4



Fig. 99 – Regione 5



Fig. 100 – Regione 6

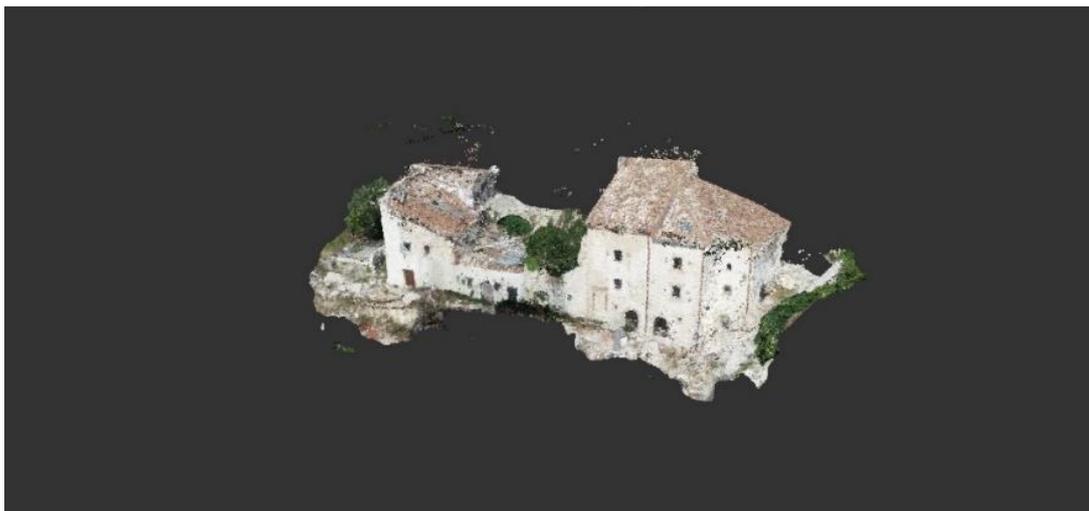


Fig. 101 – Regione 7

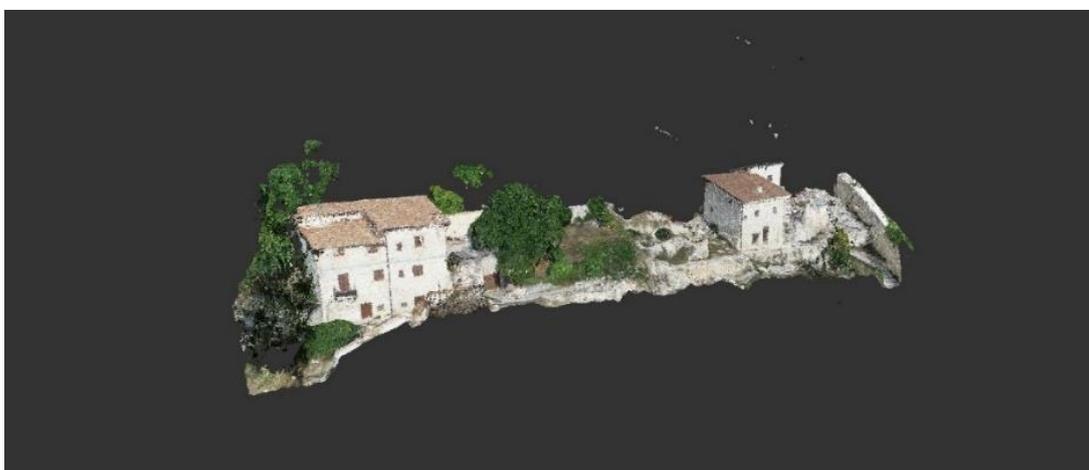


Fig. 102 – Regione 8



Fig. 103 – Regione 9



Fig. 104 – Regione 10

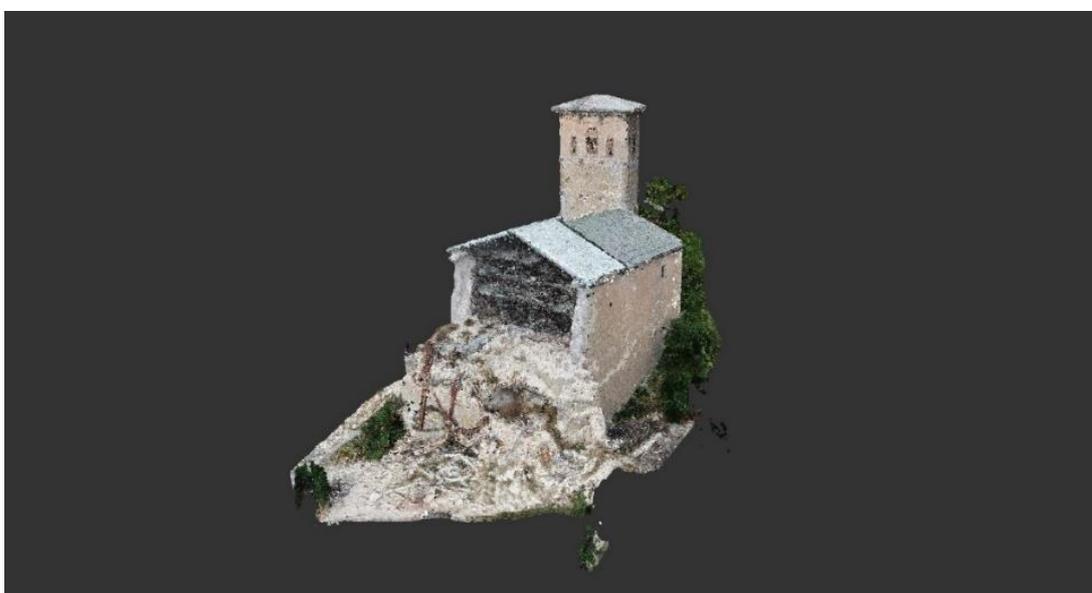


Fig. 105 – Regione 11

5.7 Modellazione tridimensionale

Una volta alleggerita la nuvola di punti e averla suddivisa in regioni, l'obiettivo del lavoro si è spostato sul trovare un modo per realizzare un modello tridimensionale completo e il più preciso possibile dell'interno centro abitato. A tal proposito è stato necessario conoscere le coordinate di ciascun punto della nuvola densa, ed è qui che torna utile il DSM e l'*orthomosaico* generati in precedenza. Entrambi sono stati importati in *ArcMap 10.6* facendo sì che i *layer* fossero visualizzati in modo da avere in secondo piano l'*orthomosaico* e in evidenza il DSM. Grazie all'ortofoto sono chiaramente visibili le posizioni di ciascun edificio e grazie al DSM sovrastante messo

in trasparenza (figura 106), con il comando *Identify* è stato possibile conoscere la quota altimetrica di ciascun punto selezionato (figura 107).

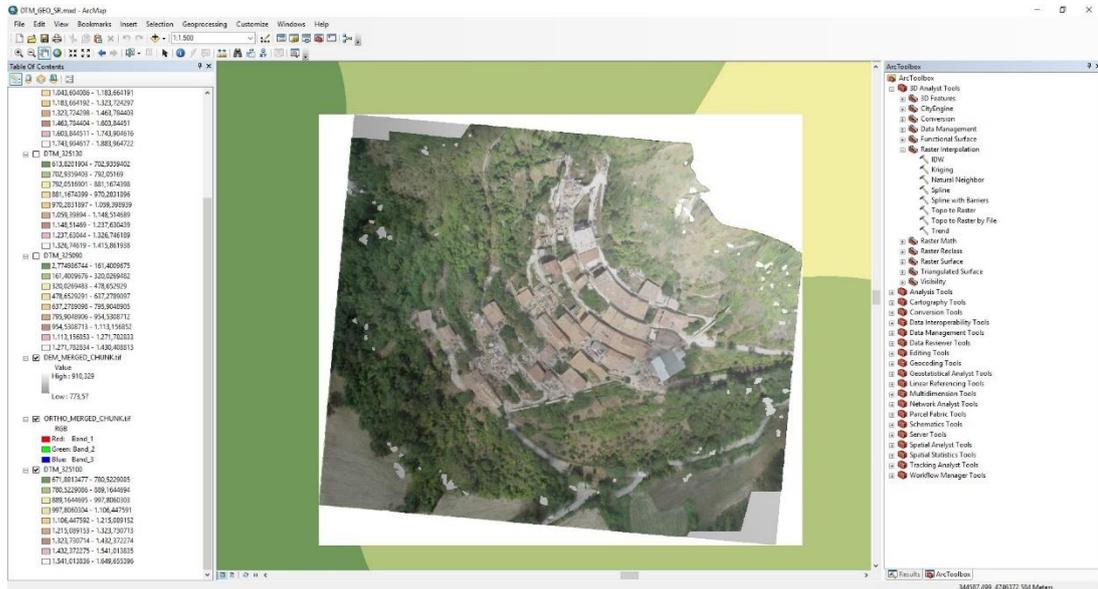


Fig. 106 – Ortofoto e DSM sovrapposti

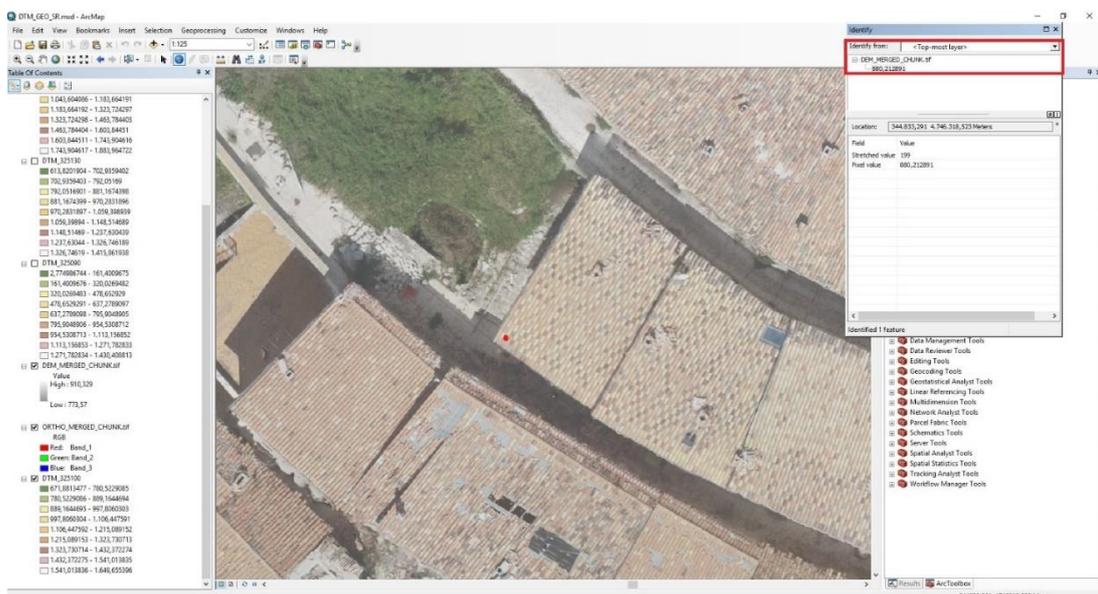


Fig. 107 – Indicazione altimetrica di un punto selezionato

Per la modellazione 3D sono stati studiati e approfonditi diversi metodi ponendosi come obiettivo finale quello di ricercare e utilizzare per la modellazione completa dell'intero paese quello sembrato a giudizio più veloce, chiaro e preciso.

5.7.1 Metodo 3D Polyline

Un primo criterio prevedere l'utilizzo di *AutoCAD 3D* mediante sole *polilinee*. Una volta caricata la prima nuvola di punti nello spazio modello, sono state disegnate le polilinee di base e di sommità di ciascun edificio (figura 108). È stato necessario specificare le quote di ciascun vertice facendo riferimento al DSM come descritto nel paragrafo 5.8.

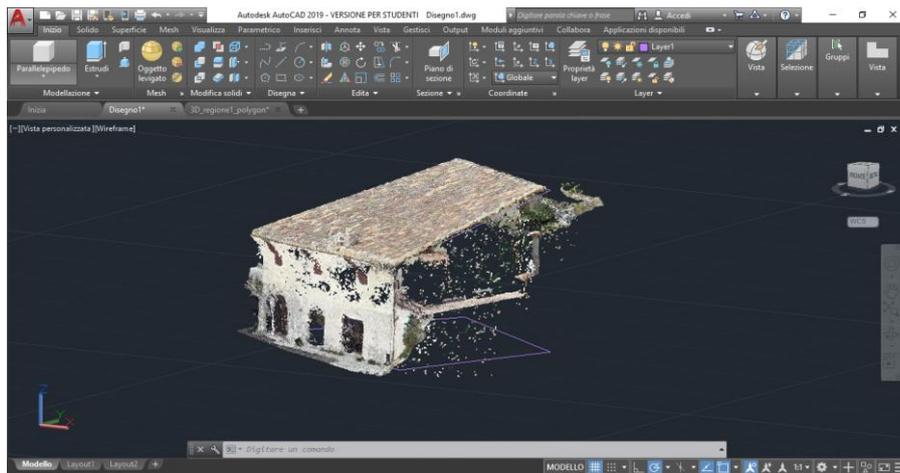


Fig. 108 – Esempio di polilinee 3D di base e di sommità, metodo 3Dpoly

A questo punto si è proceduto, per ogni faccia, con l'unione di ciascun vertice di sommità al corrispondente vertice di base sempre con l'utilizzo di polilinee 3D come mostrato nelle figure seguenti (figure 109, 110, 111, 112).

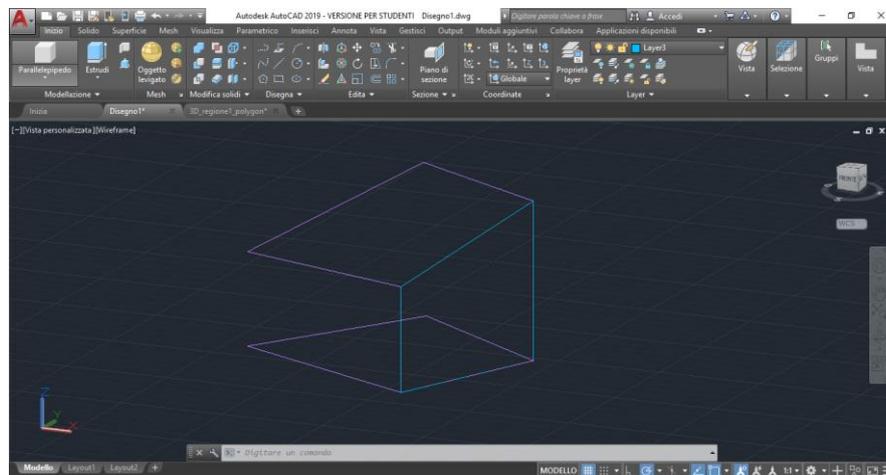


Fig. 109 – Costruzione prima faccia dell'edificio

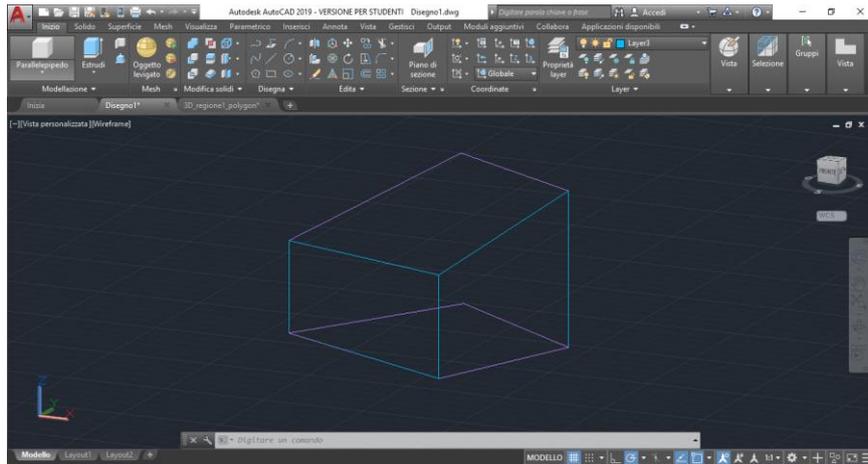


Fig. 110 – Costruzione seconda faccia dell'edificio

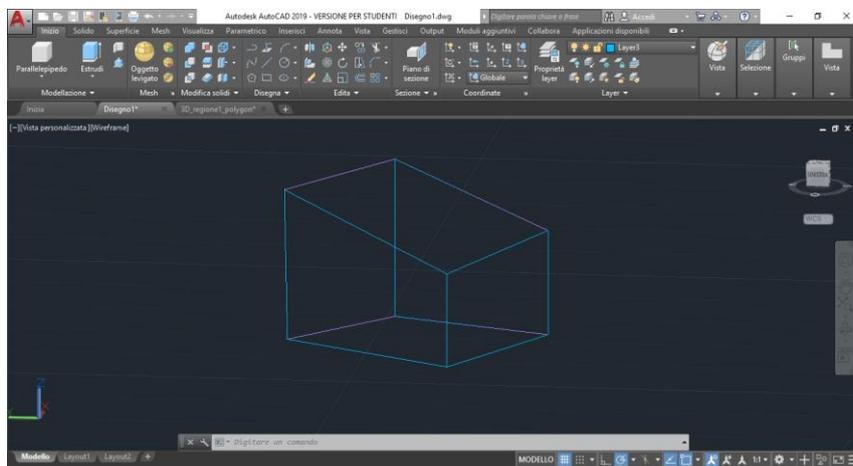


Fig. 111 – Costruzione terza faccia dell'edificio

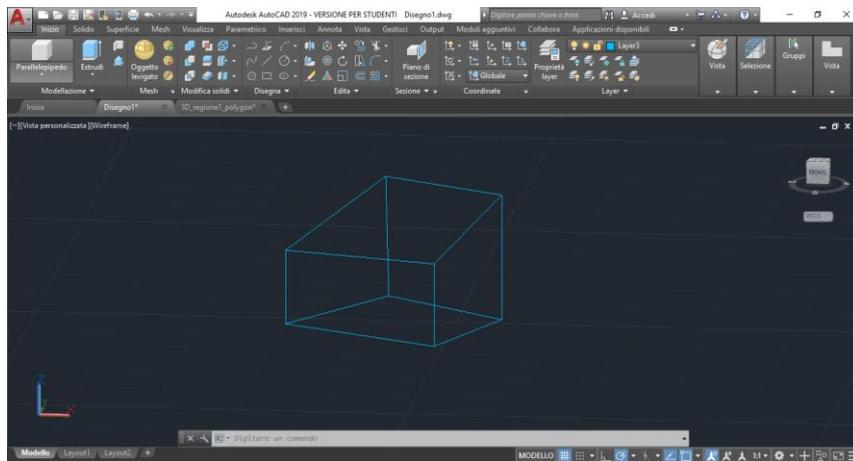


Fig. 112 – Rappresentazione completa dell'edificio con polilinee 3D

I passaggi appena descritti sono stati ripetuti al fine di completare la rappresentazione tridimensionale della parte di nuvola di punti interessata (figure 113, 114).

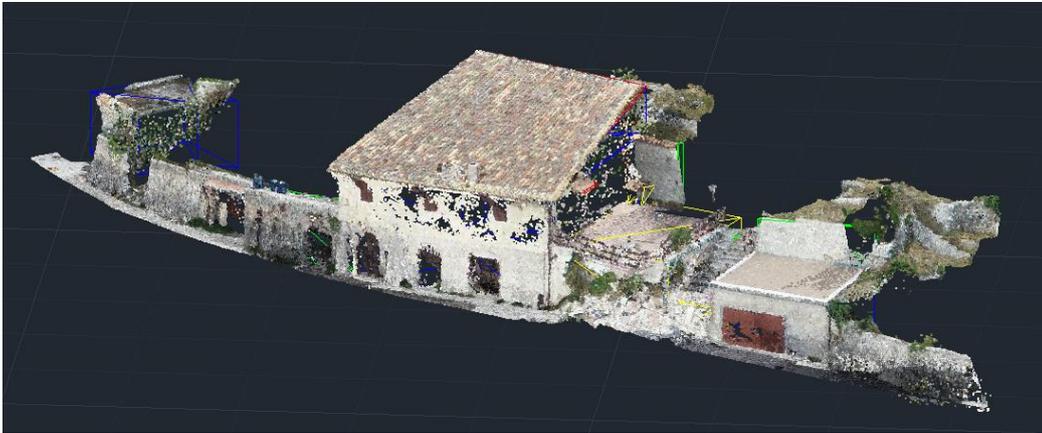


Fig. 113 – Nuvola di punti con edifici realizzati mediante polilinee

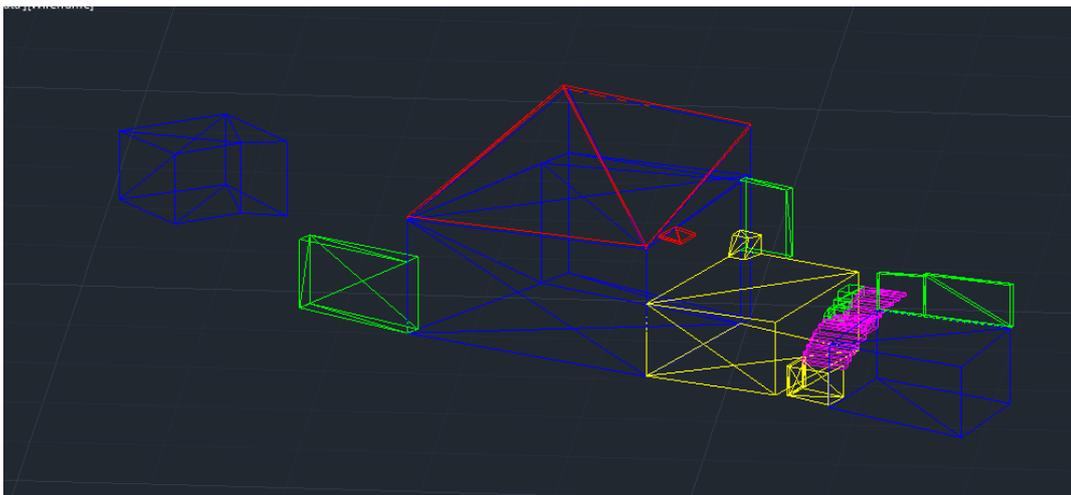


Fig. 114 – Regione 1 rappresentata con polilinee 3D

Dopo aver costruito l'intera regione in questione, si è giunti alla conclusione che tale metodo avrebbe richiesto troppo tempo per la realizzazione dell'intera area oggetto di studio in quanto solo per realizzare una piccola parte di essa, composta da pochi edifici di struttura regolare, sono stati impiegati due giorni.

5.7.2 Metodo 3D Polyline e Parallelogrammi

Il secondo metodo utilizzato per la rappresentazione 3D dell'intero paese è quello che prevede l'utilizzo di polilinee 3D e di parallelogrammi. Anche in questo caso, inizialmente si è proceduto con il disegnare le polilinee 3D di base e di sommità di ciascun edificio come mostrato in figura 115, assegnando a ciascun vertice la propria coordinata di altezza resa nota dal DSM.

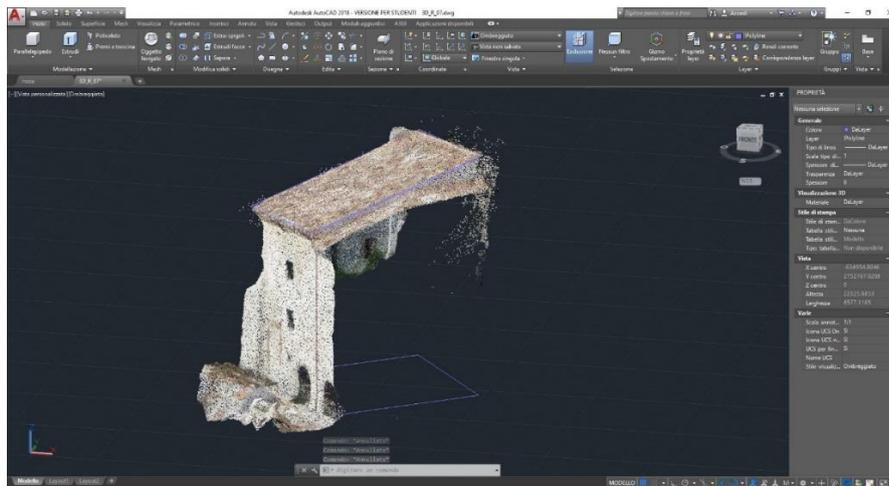


Fig. 115 – Esempio di polilinee 3D di base e di sommità

Successivamente sono stati creati dei parallelogrammi tridimensionali i cui vertici sono stati fatti coincidere con quelli delle polilinee disegnate precedentemente tramite triangolazione (figura 116).

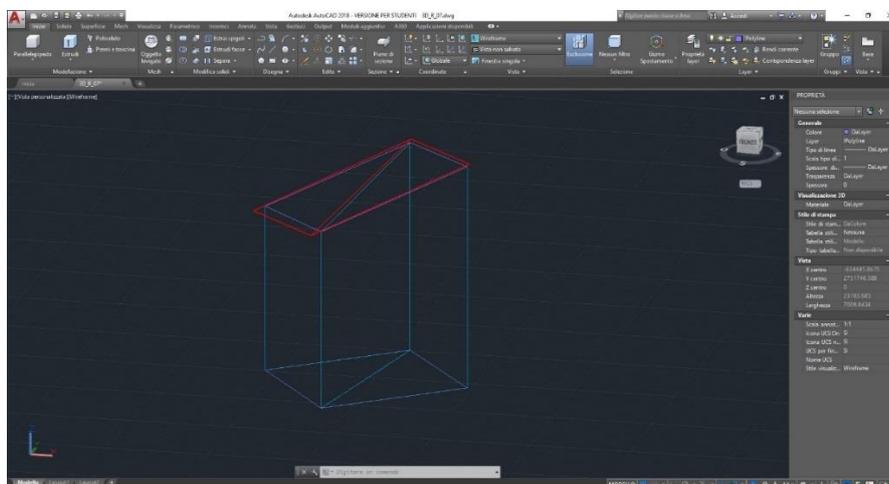


Fig. 116 – Parallelogramma tridimensionale

Lo stesso procedimento è stato utilizzato per la rappresentazione di tetti, muretti, scale e macerie. Ci si è resi conto che tale metodo, sebbene non immediato e non di facile realizzazione, risulti essere il più preciso e il più funzionale al raggiungimento degli obiettivi del caso studio quindi è stato deciso di utilizzarlo per la rappresentazione di tutte le regioni. Naturalmente, in previsione della realizzazione del *database*, si è pensato di creare *layer* differenti a seconda dell'oggetto da rappresentare. In particolare, sono stati adoperati colori differenti quali il giallo per identificare le macerie presenti, il blu per gli edifici, il rosso per i tetti, il verde per i muretti e il ciano per la rappresentazione delle rampe di scale. Di seguito si riportano le immagini di quanto appena descritto.



Fig. 117 – Regione 1 con nuvola

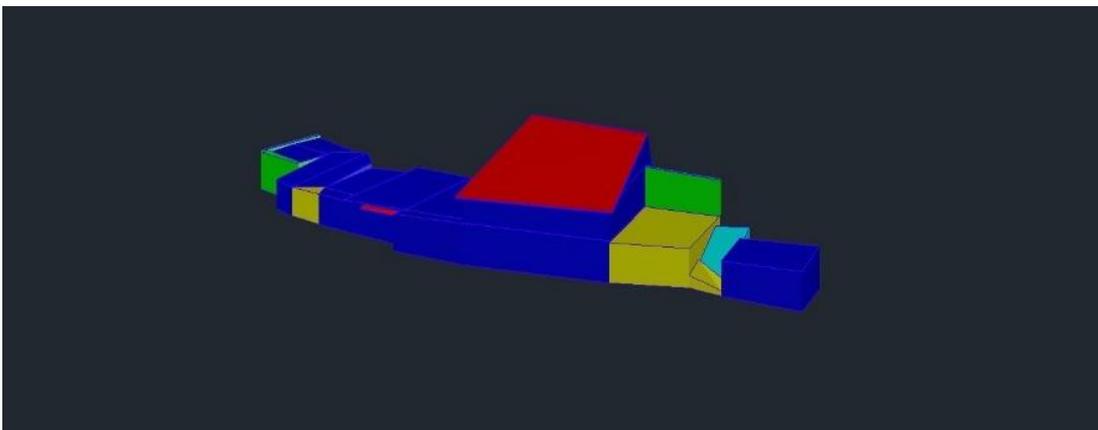


Fig. 118 – Modello tridimensionale della Regione 1



Fig. 119 – Regione 2 con nuvola

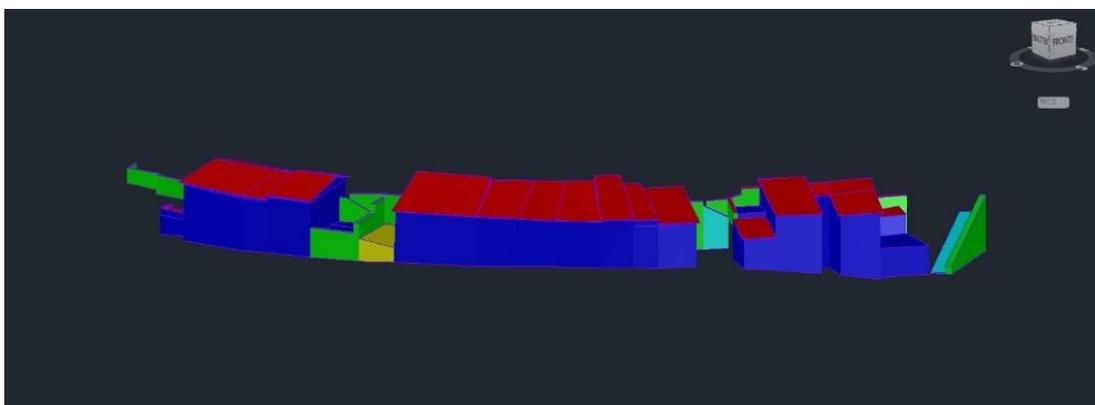


Fig. 120 – Modello tridimensionale della Regione 2



Fig. 121 – Regione 3 con nuvola

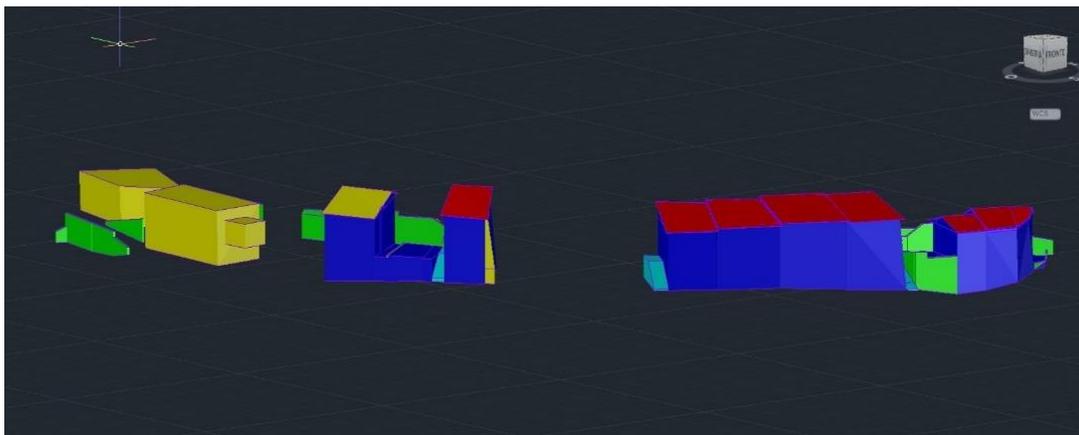


Fig. 122 – Modello tridimensionale della Regione 3



Fig. 123 – Regione 4 con nuvola

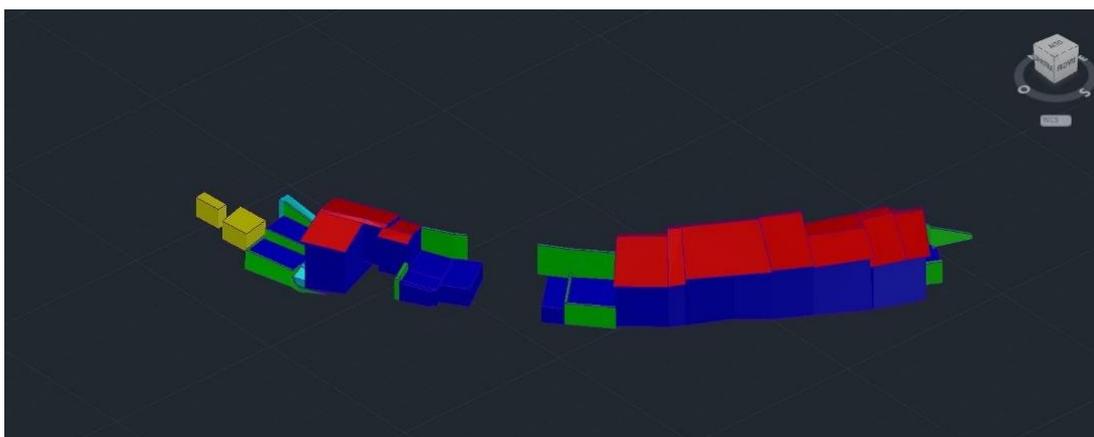


Fig. 124 – Modello tridimensionale della Regione 4



Fig. 125 – Regione 5 con nuvola

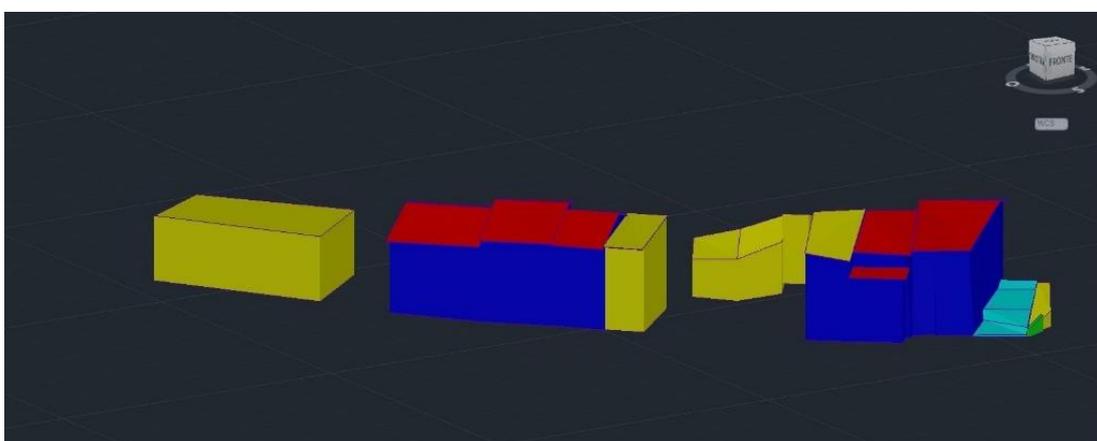


Fig. 126 – Modello tridimensionale della Regione 5



Fig. 127 – Regione 6 con nuvola

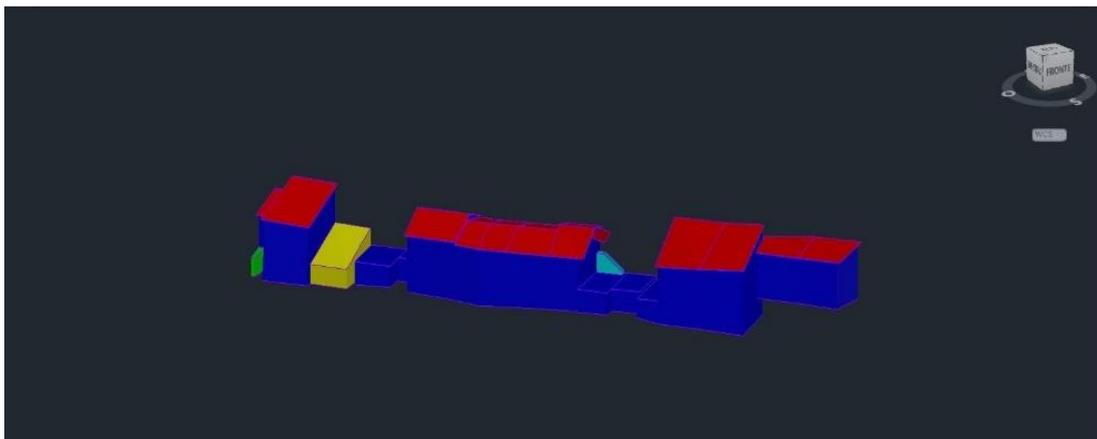


Fig. 128 – Modello tridimensionale della Regione 6



Fig. 129 – Regione 7 con nuvola

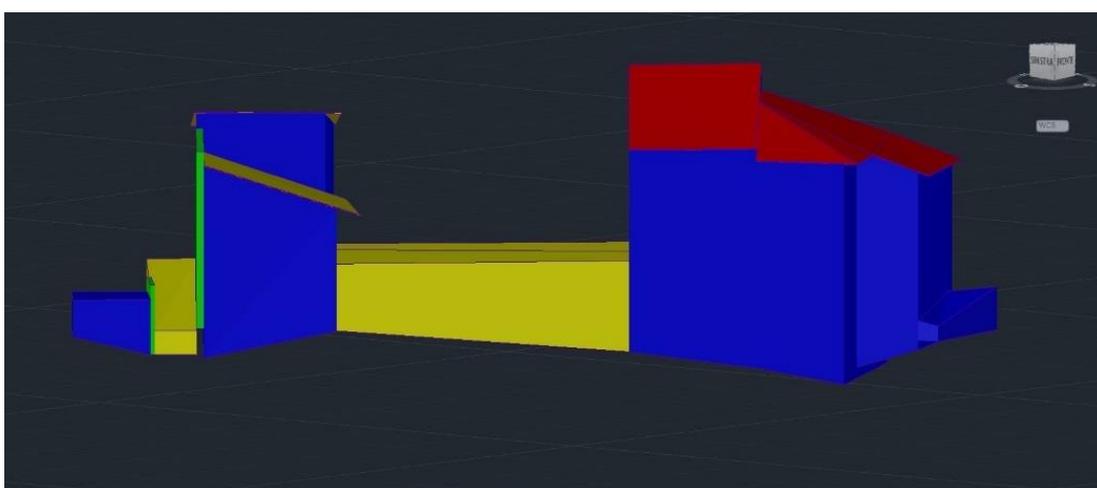


Fig. 130 – Modello tridimensionale della Regione 7



Fig. 131 – Regione 8 con nuvola

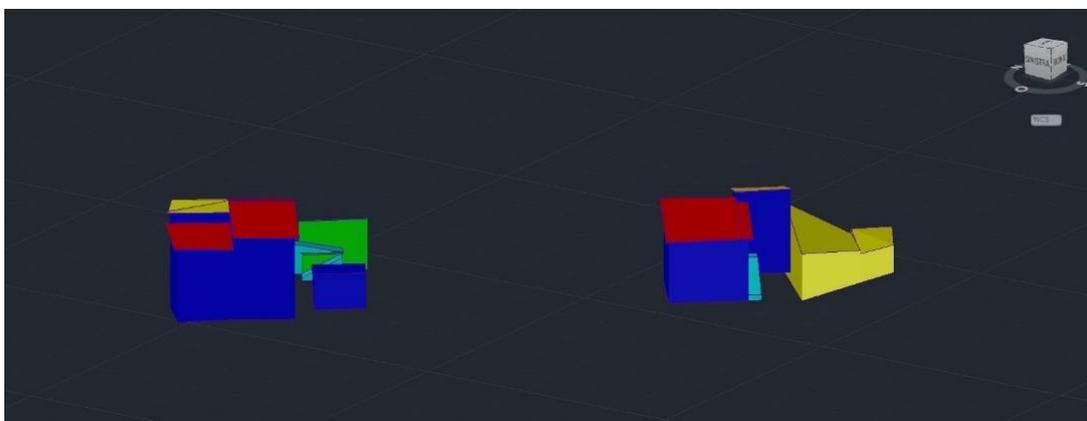


Fig. 132 – Modello tridimensionale della Regione 8



Fig. 133 – Regione 9 con nuvola

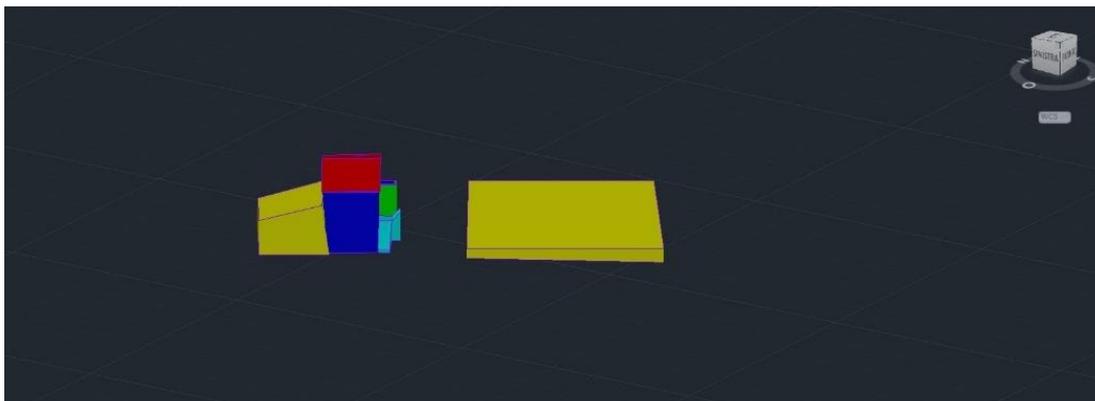


Fig. 134 – Modello tridimensionale della Regione 9



Fig. 135 – Regione 10 con nuvola

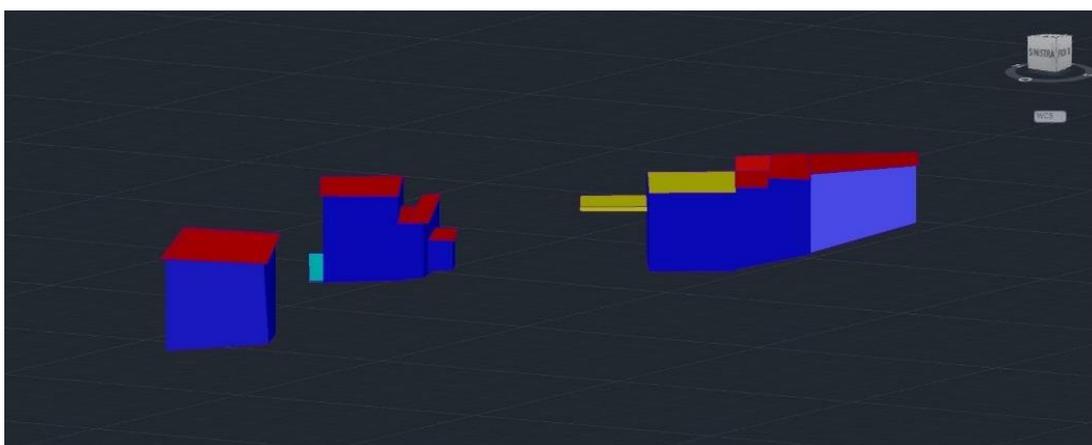


Fig. 136 – Modello tridimensionale della Regione 10



Fig. 137 – Regione 11 con nuvola

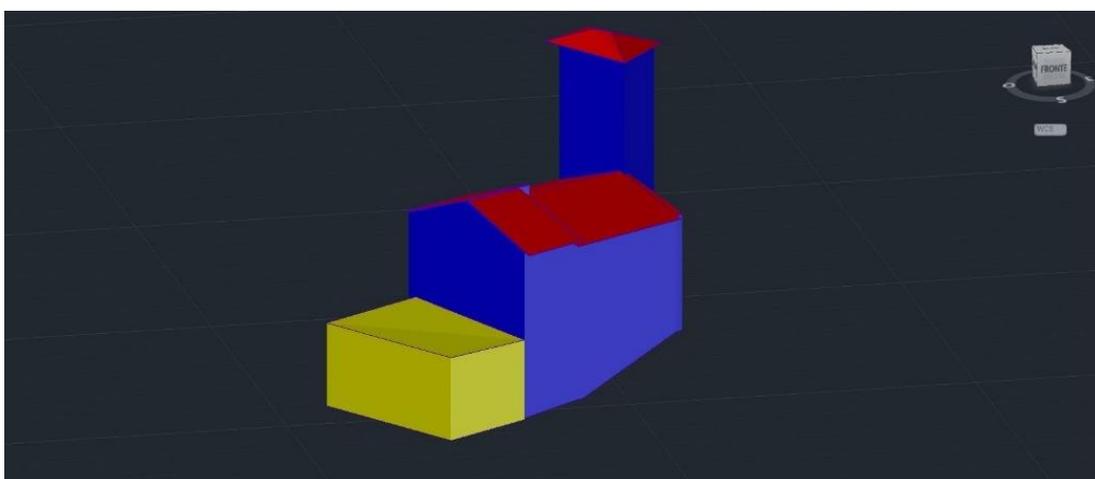


Fig. 138 – Modello tridimensionale della Regione 11

Una volta completata la rappresentazione di ciascuna regione, è stato possibile unire in un nuovo foglio CAD tutti i blocchi disegnati in modo da avere il modello integrale (figure 139, 140, 141).

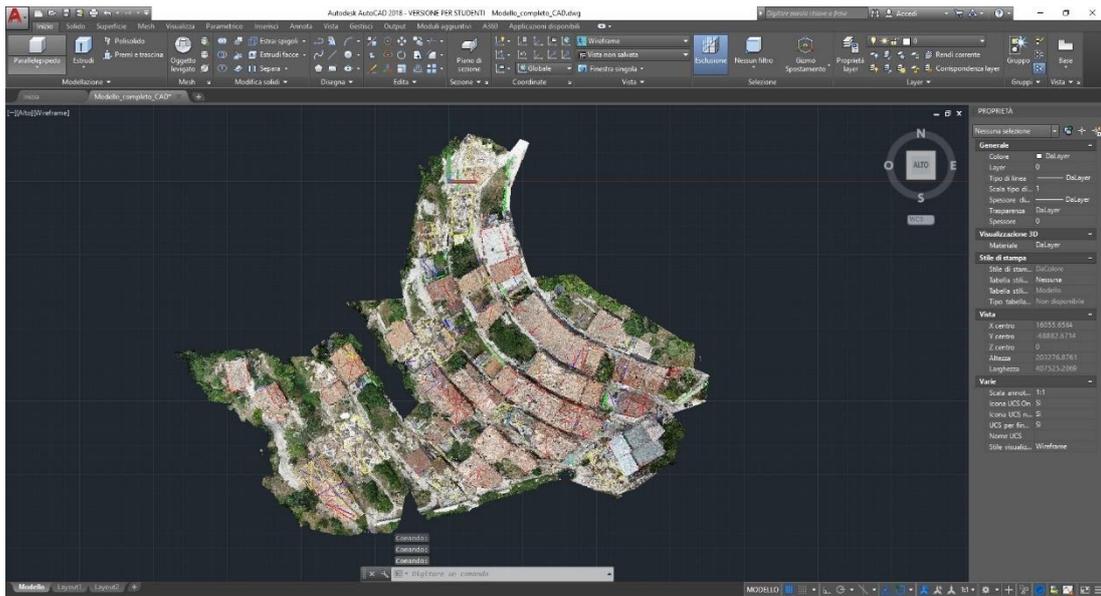


Fig. 139 – Modello completo con nuvola

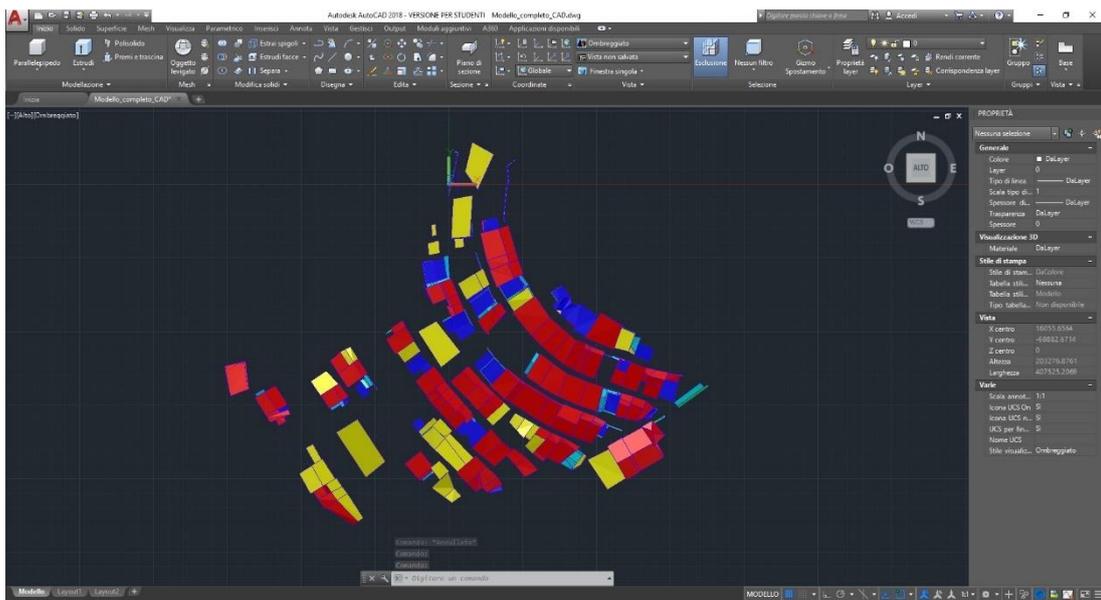


Fig. 140 – Modello completo vista dall'alto

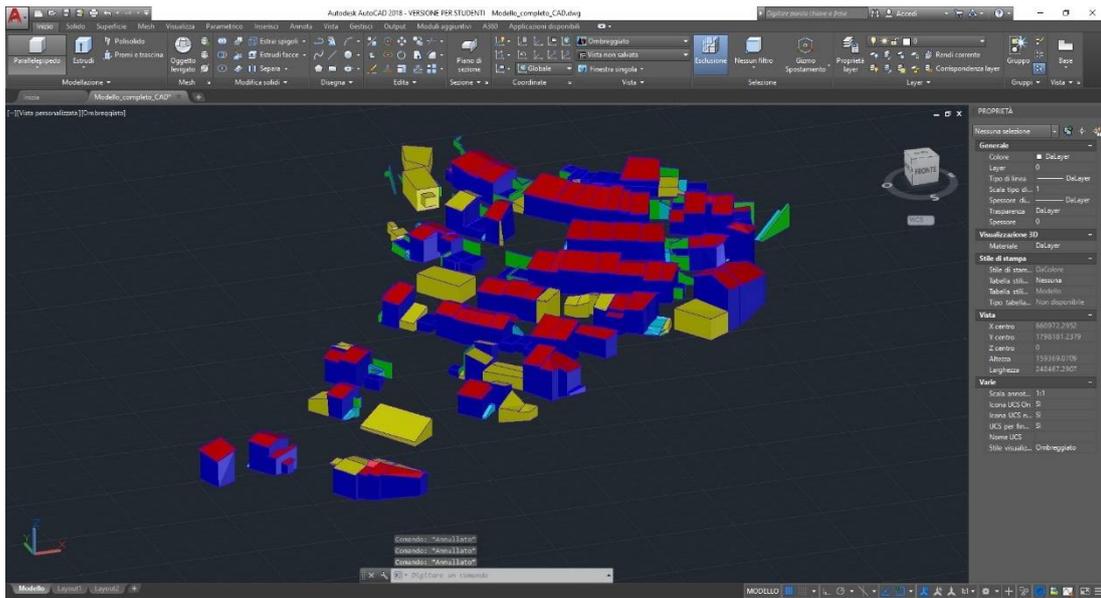


Fig. 141 – Modello completo vista laterale

CAPITOLO 6

Implementazione del DB di ResCult

6.1 GIS: Geographic Information System

Un GIS, o *Geographic Information System*, è uno strumento che permette di elaborare dati spaziali e non, e di trasformarli in informazioni utili alla gestione del territorio. Lo sviluppo del GIS è strettamente correlato alle innovazioni avvenute negli ultimi anni in ambito informatico in quanto unisce quelli che sono i meccanismi e le operazioni dei comuni *database* con l'analisi geografica. Tutte le informazioni inserite in esso infatti, sono accomunate da riferimenti spaziali. In un Sistema Informativo Territoriale la raccolta e l'elaborazione dei dati è uno degli aspetti più importanti. I dati possono essere tematici, i quali descrivono dettagliatamente il fenomeno che si desidera studiare, o spaziali, i quali specificano l'ubicazione di un particolare oggetto o evento. La particolarità del GIS risiede nel fatto che non esiste una metodologia specifica per ogni singolo problema da risolvere, ma esso deve essere progettato, sviluppato e gestito a seconda dell'obiettivo da raggiungere⁶⁰.

6.2 Organizzazione degli elaborati in LoD

Al fine di implementare il *database* di ResCult, è stato necessario organizzare il lavoro in modo da renderlo compatibile con la struttura della banca di dati. Come descritto nel sottoparagrafo 2.3.2, il *database* si sviluppa in livelli di dettaglio. Obiettivo finale di questo elaborato è stato quello di arrivare al *LoD_2*.

⁶⁰ Sistemi Informativi Geografici, un percorso attraverso concetti e nozioni fondamentali per adattarsi nel vasto mondo della Scienza della Informazione Geografia, E. Caiaffa, 2006

6.2.1 Livello di Dettaglio 0

Poiché il livello di dettaglio 0 contiene al suo interno dati bidimensionali, sono stati adoperati i file scaricati del Geoportale della Regione Umbria⁶¹. Dalla Carta Tecnica Regionale, CTR, in scala 1: 10000 della zona interessata utilizzata per la realizzazione del DTM come descritto al paragrafo 5.6, sono stati esportati in questo caso soltanto i *layer* rappresentanti l'idrografia della zona, le infrastrutture stradali e le geometrie degli edifici presenti. Per far ciò si è fatto riferimento al file delle specifiche relative alla CTR al fine di individuare i *layer* di interesse. In particolare, per l'idrografia sono stati selezionati i *layer* con codice 3020 e 3040, rispettivamente (figura 142), per le infrastrutture stradali i *layer* con codice 1010, 1020 e 1030 (figura 143) e per gli edifici 2D i *layer* con codice 2010, 2020, 2030, 2040, 2060 (figura 144).

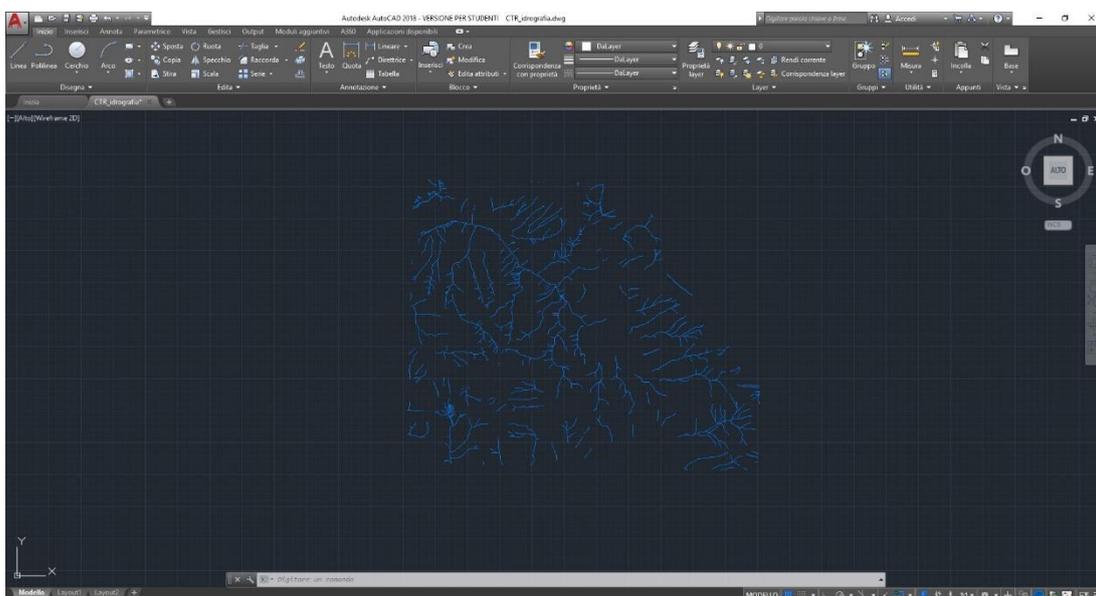


Fig. 142 – Idrografia dalla CTR

⁶¹ <http://www.umbriageo.regione.umbria.it>

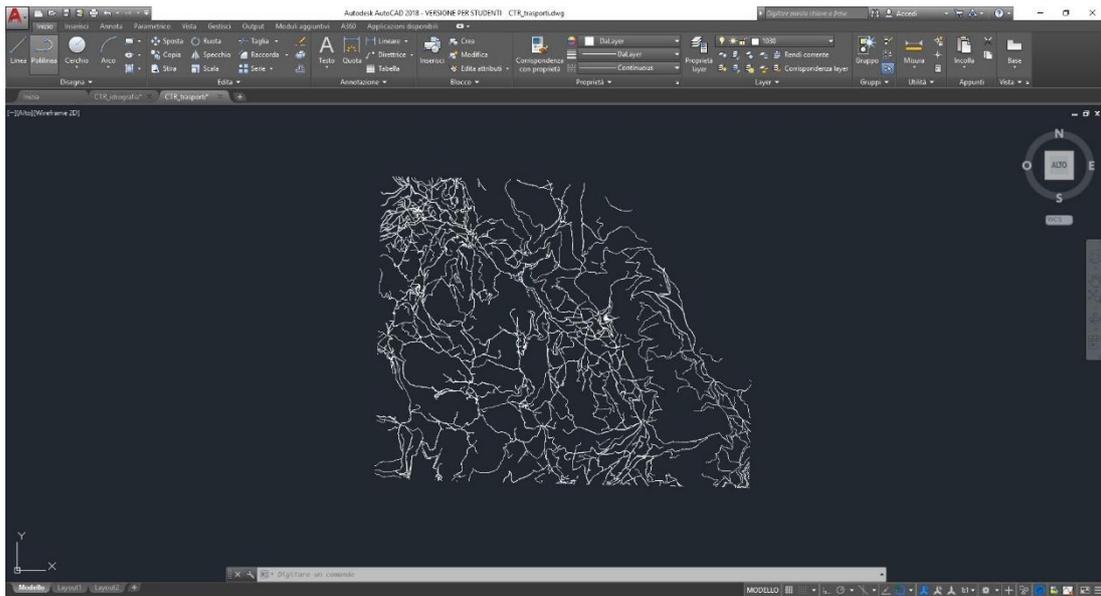


Fig. 143 – Trasporti dalla CTR

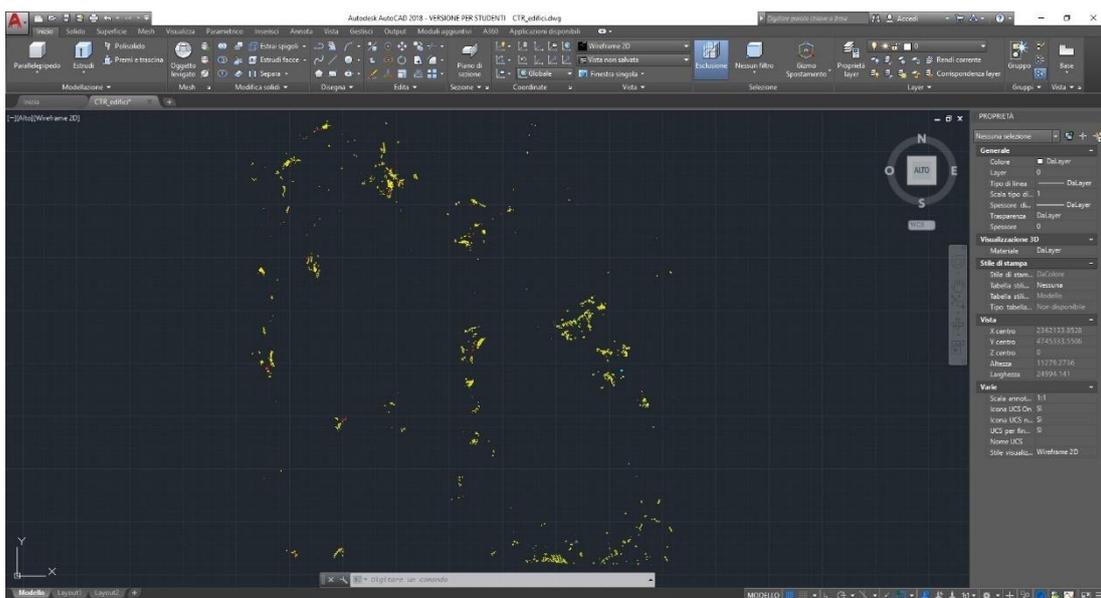


Fig. 144 – Planimetria degli edifici dalla CTR

Il formato compatibile con il *software* utilizzato per l'implementazione del *database* è il formato *shapefile* (ESRI). Per questo motivo ciascuno dei *.dxf* esportati da *AutoCAD* è stato poi caricato in GIS (*ArcMap*) e convertito in *shapefile* (figura 145). Poiché la CTR risulta essere nel sistema di riferimento *Gauss-Boaga*, è stato necessario convertire i file nel sistema di riferimento ETRF2000 fuso 33 tramite, come descritto al sottoparagrafo 5.6.1, il *software ConveRgo*.

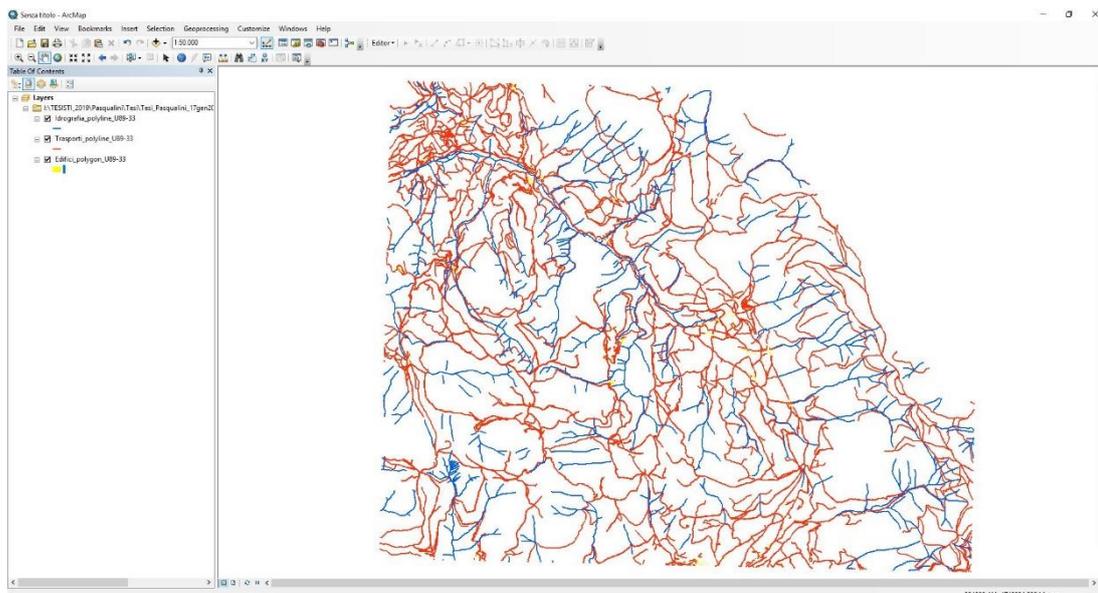


Fig. 145 – Shapefile di trasporti, idrografia ed edifici

6.2.2 Livello di Dettaglio 1

Il livello di dettaglio 1 prevede l'implementazione del livello di dettaglio del LoD_0 . Si passa quindi da una visualizzazione bidimensionale, ad una visualizzazione 2,5D o 3D. Per questo motivo seguendo lo *standard* di CityGML, si è deciso di popolare il *database* con solo i volumi dell'edificato di Campi Alto ed è quindi stato nuovamente realizzato un modello 3D che focalizzasse la sua attenzione sui blocchi di fabbricati (figura 146).

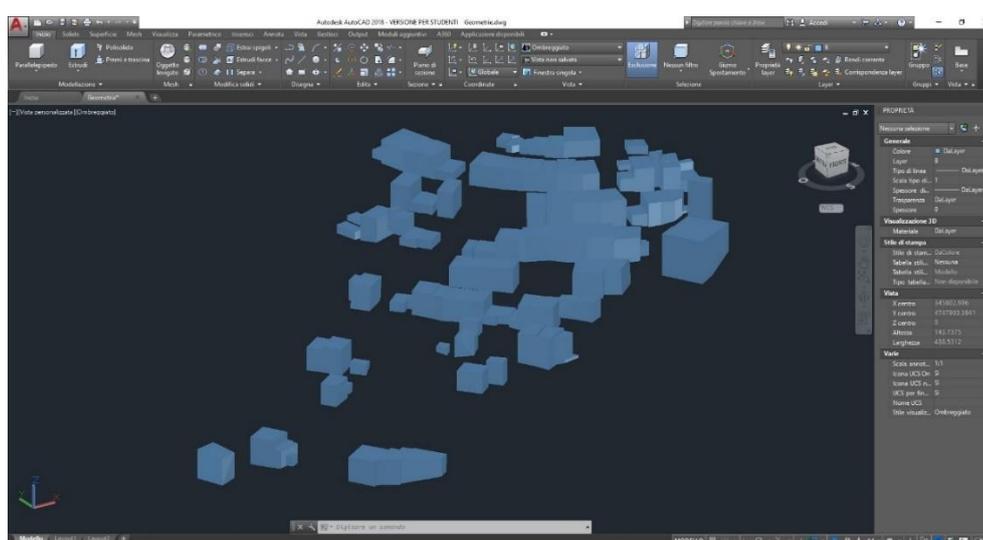


Fig. 146 – Modello tridimensionale del LoD_1

In questo caso, per l'esportazione del file in formato *.shp*, a causa dei problemi di interoperabilità, è stato necessario prima passare tramite l'ultima versione di *3DReshaper*. Quest'ultimo è un *software* dedicato alla modellazione 3D di nuvole di punti che offre differenti funzionalità tra le quali anche quella di generare da un modello *CAD*, la *mesh* 3D dell'oggetto rappresentato. Per far ciò come prima cosa è stato esportato da *AutoCAD* il modello in formato *.IGS*. Il formato *.IGS* viene solitamente utilizzato per progetti di testo e *CAD* per salvare ed esportare dati vettoriali che possono contenere modelli o oggetti grafici⁶². Una volta importato su *3DReshaper* (figura 147), è stato necessario impostare il metro come unità di misura del progetto e successivamente tramite il comando *Costruisci mesh dalle superfici su CAD* (figura 148) è stato possibile costruirne la *mesh* (figura 149) ed esportare poi il gruppo *mesh* in formato *.dxf*.

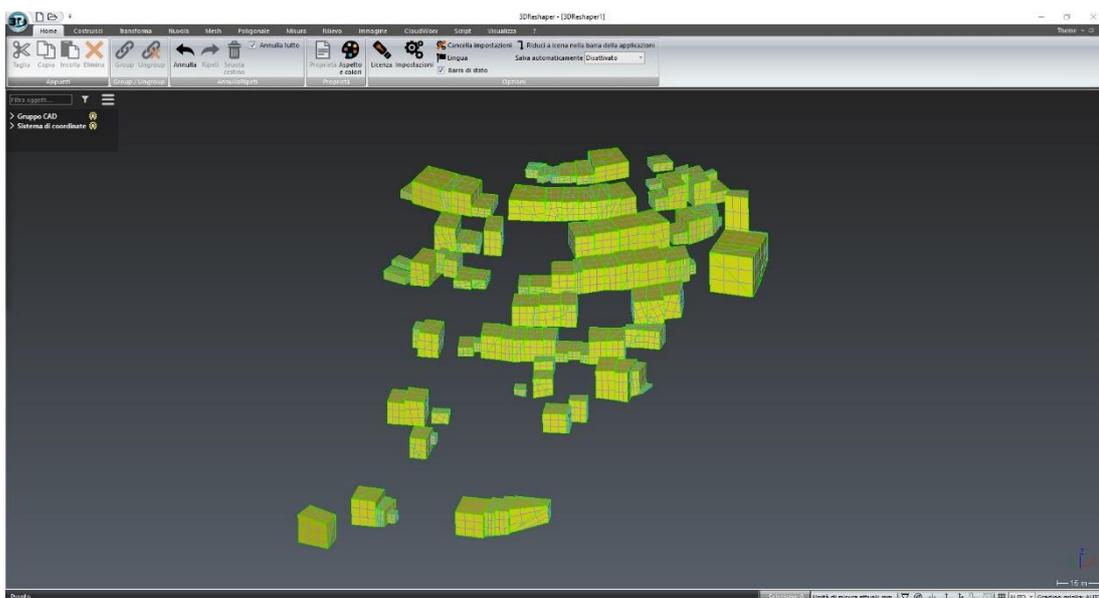


Fig. 147 – LOD_1 in formato *.IGS* su *3DReshaper*

⁶² <https://it.downloadastro.com/>

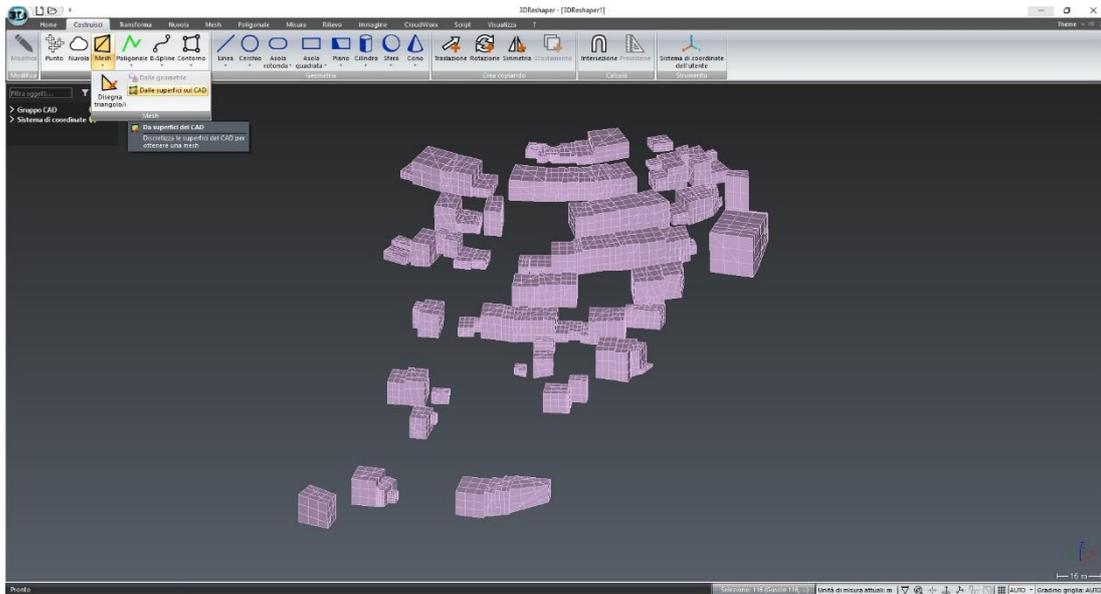


Fig. 148 – Costruisci mesh dalle superfici su CAD

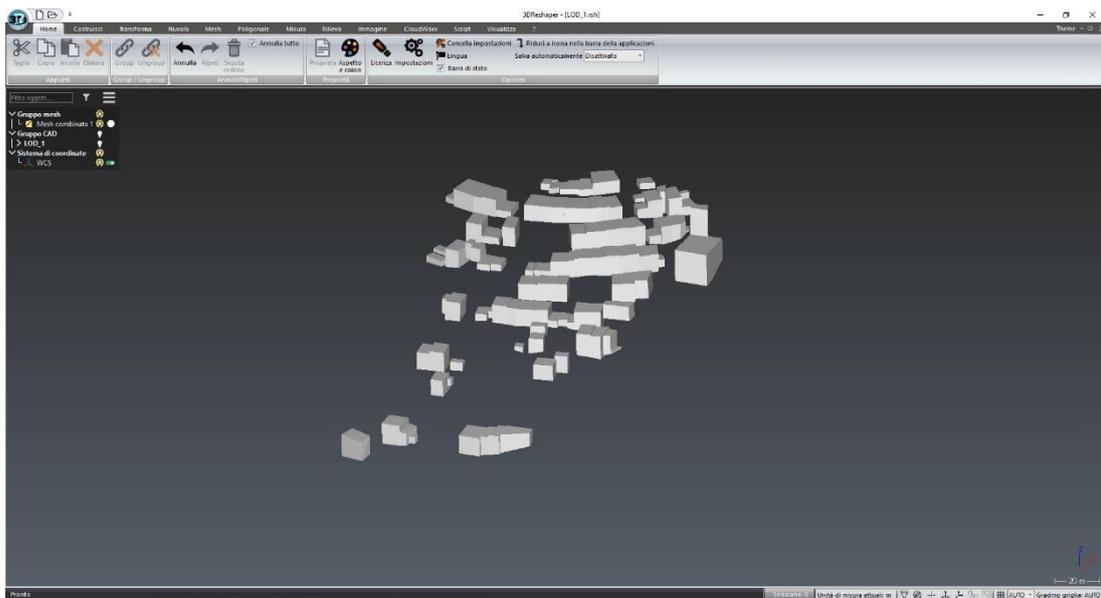


Fig. 149 – Mesh del LOD_1

In figura 150 vengono schematizzati i passaggi appena descritti.



IGS



.DXF



Fig. 150 – Schematizzazione passaggi da .dwg a .dxf

A questo punto è stato sufficiente importare quest'ultimo in *ArcScene*, *software* che permette di esportare un file *Multipatch*, ovvero un oggetto GIS che memorizza punti, linee e poligoni per la rappresentazione di un oggetto 3D in formato *.shp* (figura 151).

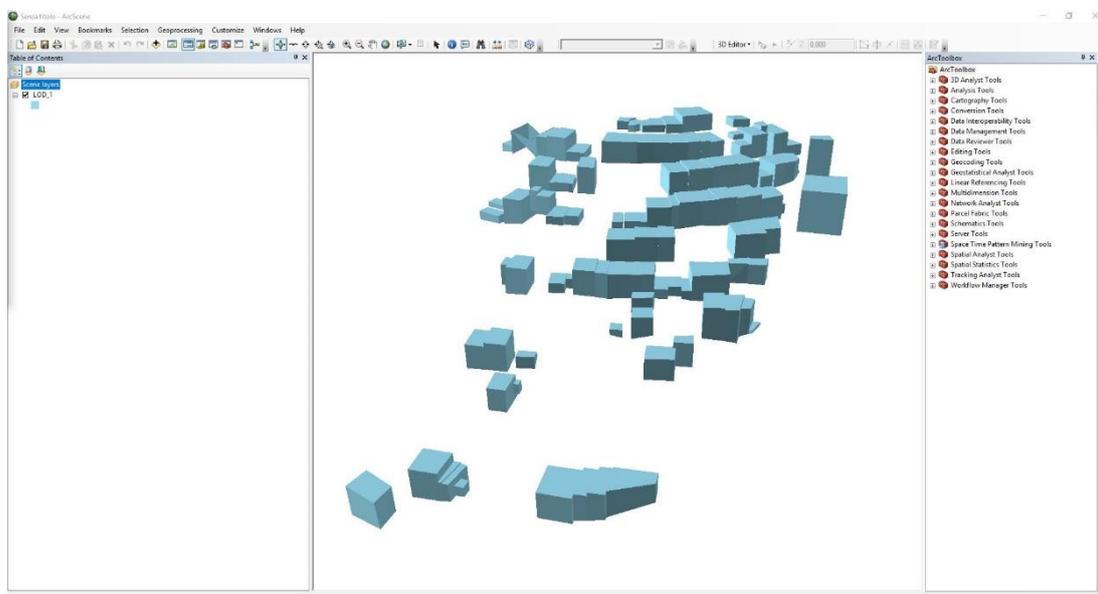


Fig. 151 – *LOD_1* in formato *.shp*

6.2.3 Livello di Dettaglio 2

Il livello di dettaglio 2 contiene al suo interno non solo le masse dell'edificato ma anche altri elementi di particolare interesse. Partendo dal *LoD_1*, sono state infatti aggiunte ulteriori informazioni quali i tetti dei fabbricati, le macerie presenti, i muretti e le scale. Al fine di rendere più chiara la visualizzazione dei vari elementi, è stato scelto di classificare le geometrie associando ad ogni entità, il cui identificativo è stato scelto consultando la Prescrizioni Tecniche - Repertorio degli elementi e delle entità⁶³, un colore differente come riportato in tabella 14.

⁶³ Cartografia Numerica a scala 1:500; Capitolato Speciale d'Appalto; Prescrizioni Tecniche; Repertorio degli elementi e delle entità; contenuti e codici,1992

LEGENDA	
ENTITÀ	COLORE
Unità volumetrica di edificio	Blue
Falda di copertura dei fabbricati	Red
Manufatto di arredo urbano	Green
Cumulo di macerie	Yellow
Rampa	Pink

Tab. 14 – Legenda degli elementi

Anche in questo caso, prima di importare il file in *ArcMap*, è stato necessario esportarlo da *AutoCAD* in formato *.IGS*, generare la *mesh* degli oggetti in *3DReshaper* e salvare il gruppo *mesh* in formato *.dxf*. Al fine di mantenere la codifica dei colori a seconda dell'oggetto rappresentato, è stato necessario isolare ciascun *layer* in *AutoCAD* ed esportarlo uno per volta in *.IGS*. Costruita la *mesh* di ciascun elemento sono stati creati i file *.dxf* e importati in *ArcScene*. Inizialmente le entità *Polygon* di ciascun file *.dxf* del *LOD_2* sono state salvate in *shapefile* e aggiunte ai *layer* di *ArcScene* (figura 152).

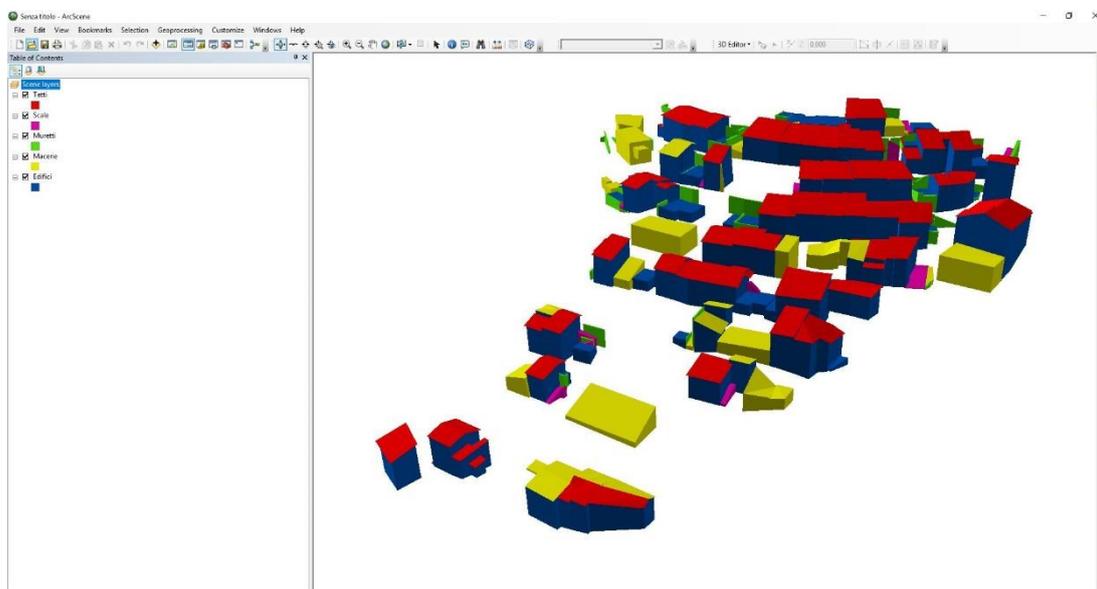


Fig. 152 – Shapefile separati di ciascun layer del *LOD_2*

Prima di creare uno *shapefile* unico, è stato necessario effettuare dei collegamenti tra i vari *shapefile* al fine di mantenere la classificazione degli oggetti. Per questo motivo nella tabella degli attributi di ogni *layer*, tramite il comando *Add Field* è stato aggiunto un nuovo campo di tipo testo, comune per ogni livello, con denominazione *Tipologia* (figure 153, 154).

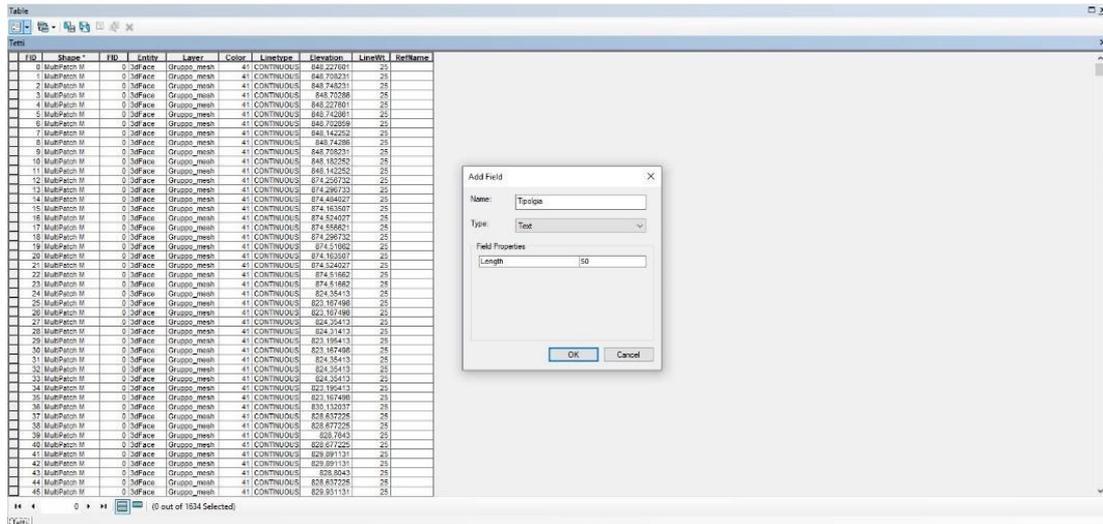


Fig. 153 – Add Field

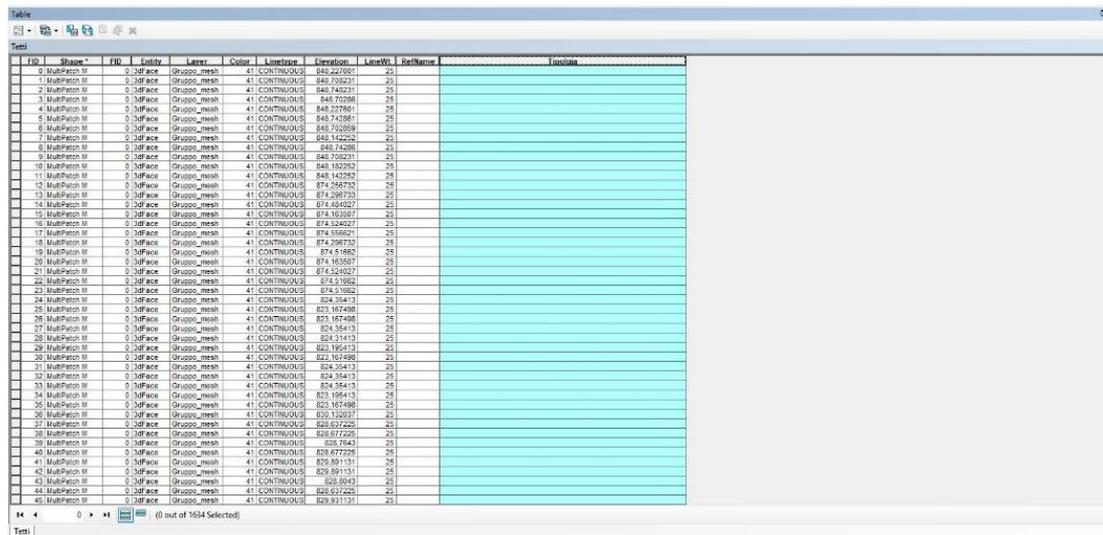


Fig. 154 – Nuovo campo Tipologia

Attivando l'editing è stato possibile, grazie al comando *Field Calculator*, imporre che ogni riga appartenente alla colonna *Tipologia* del *layer* di riferimento, in questo caso *Tetti*, fosse identificata con il termine *Tetto* (figure 155, 156).

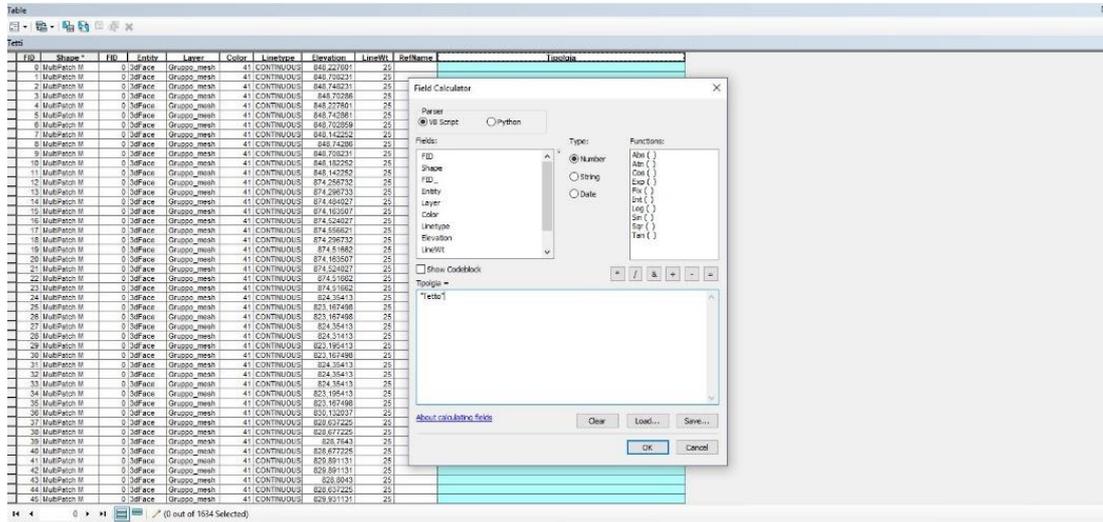


Fig. 155 – Field Calculator

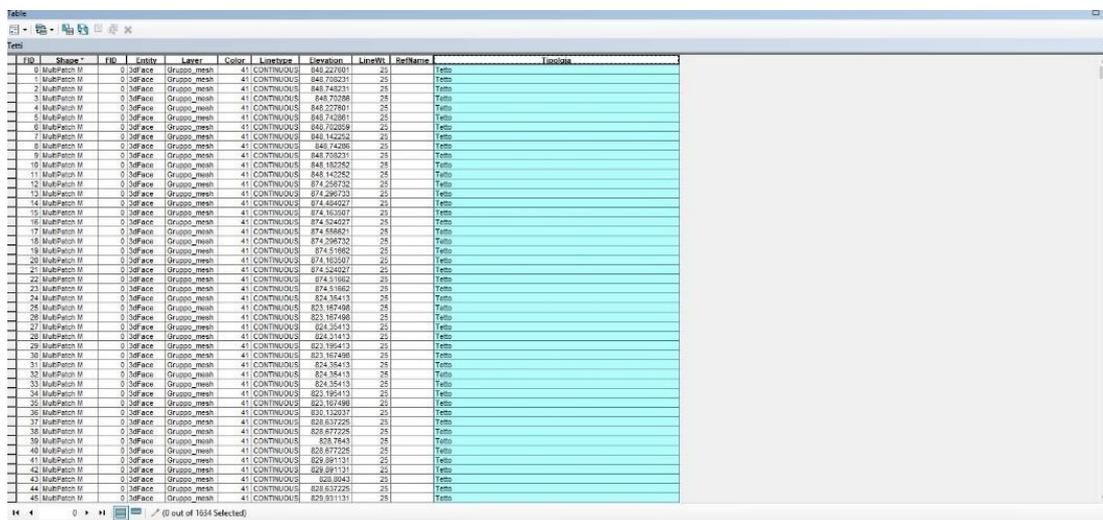


Fig. 156 – Tipologia Tetto per il layer Tetti

Gli stessi passaggi sono stati effettuati per gli altri livelli. È stato quindi creato un nuovo campo *Tipologia* in ogni tabella degli attributi e a seconda dell'oggetto rappresentato è stato associato a ogni *layer* la denominazione *Edificio*, *Scala*, *Muretto*, *Maceria*. A questo punto avendo creato un campo comune a tutti i livelli, tramite il

comando *merge* (figura 157), è stato possibile creare un unico *shapefile* comprendente tutti i *layer* (figura 158).

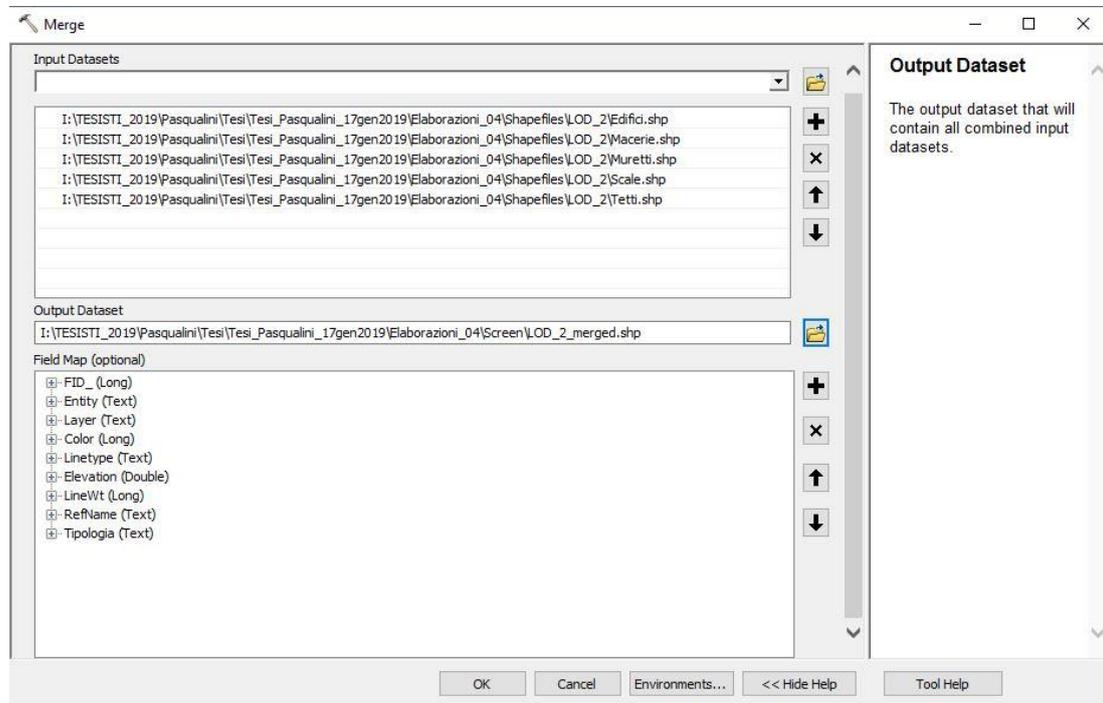


Fig. 157 – Unione degli shapefile separati

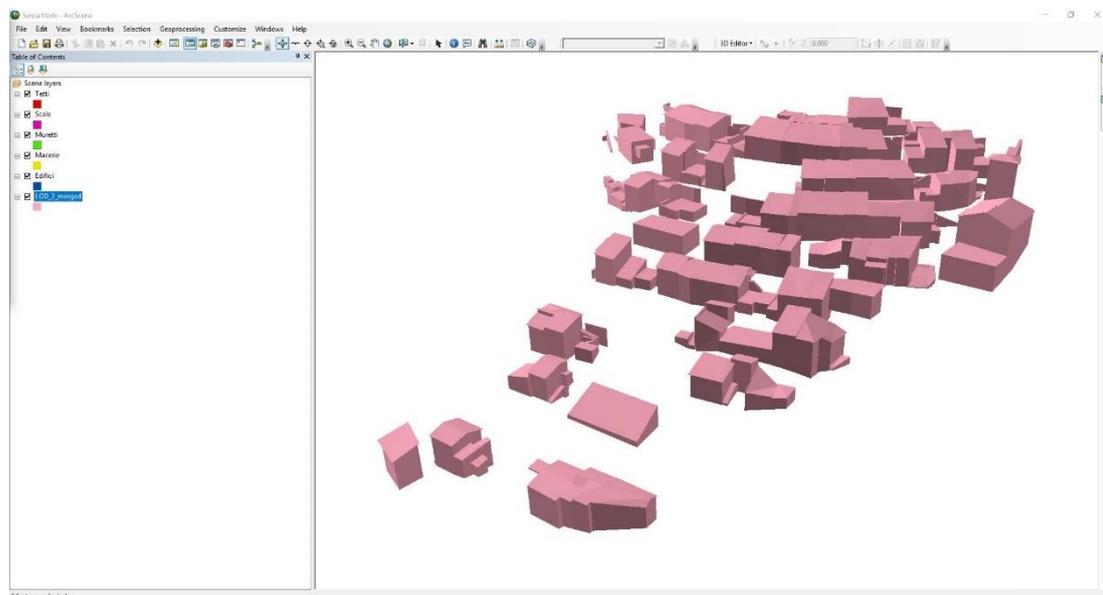


Fig. 158 – LOD_2

È stato quindi possibile categorizzare quest'ultimo con colori differenti secondo la legenda di riferimento. Accendendo alle proprietà dello *shapefile*, dall'opzione *Simbology* questo è stato categorizzato in base al campo comune a tutti gli *.shp* (figura 159).

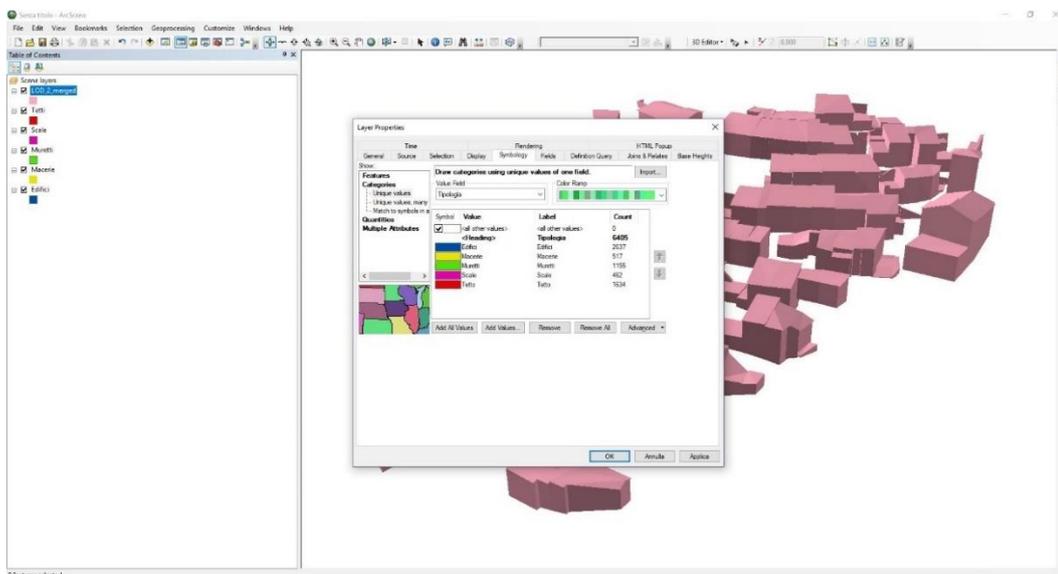


Fig. 159 – Categorizzazione dello *shapefile* unico

A questo punto è stato possibile ottenere uno *shapefile* unico e categorizzato a seconda dell'oggetto rappresentato (figura 160).

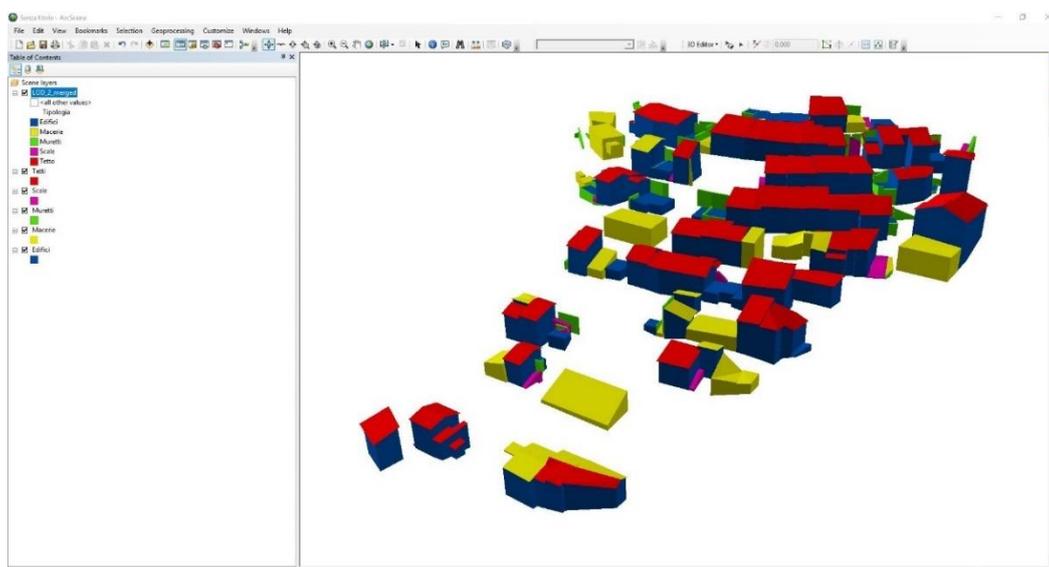


Fig. 160 – *LOD_2* definitivo

Al fine di memorizzare inoltre la simbologia dello *shapefile* del *LOD_2*, è stato salvato ciascun *layer* in formato *.lyr* tramite il comando *Save as layer file*.

6.3 Il software *QGis*

Per il Progetto Europeo ResCult, la scelta del *software* di cui servirsi per la costruzione del *database* era ricaduta sull'utilizzo di un *software Open Source*. Per questo motivo, il *software* utilizzato al fine di integrare il *database* di ResCult con i dati relativi a Campi Alto è stato lo stesso che è stato adoperato per la costruzione della banca dati: *Quantum Gis* (*QGis*). Questo GIS *software* funziona su Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android, supporta numerosi formati siano essi vettoriali, *raster*, *database* ed è un sistema di Informazione Geografica *Open Source* facile da usare, rilasciato sotto la GNU *General Public License*. *QGis* è un progetto ufficiale della *Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)*⁶⁴. Per aumentare l'efficienza e la compatibilità del *software*, è stato installato anche il *Plug-in* aggiuntivo *PostgreSQL*, il quale ha permesso di abilitare il collegamento con *PostGIS*. L'installazione di questa estensione risulta essere necessaria al fine di implementare la banca dati di ResCult in quanto il *database* di ResCult è stato creato al suo interno.

PostgreSQL è il più potente *database* relazionale a oggetti. Essendo *Open Source*, il suo codice sorgente è disponibile al pubblico e "aperto" ai contributi degli sviluppatori che volontariamente intendono partecipare alla sua implementazione⁶⁵. In questo *software* i dati vengono rappresentati attraverso delle tabelle le quali sono gestite utilizzando un linguaggio di alto livello chiamato *SQL*.

6.3.1 Il linguaggio *SQL*

Il *database* è una struttura complessa in grado di ottimizzare l'accesso e la modifica di grandi quantità di dati conservati su un generico dispositivo di archiviazione. Come descritto nei capitoli precedenti, da alcuni anni a questa parte lo sviluppo delle banche dati ha avuto una crescita notevole, in particolar modo si è affermata la classe dei *database* relazionali. Per interagire con questa tipologia di

⁶⁴ QGIS – Il leader dei software GIS Desktop Open Source. Fonte: qgis.org

⁶⁵ Basi di dati. Introduzione a PostgreSQL, K. Donno, 2016

banca di dati vi è oggi un linguaggio definito standard e denominato *SQL*, ovvero *Structured Query Language*⁶⁶. Durante lo sviluppo di questo progetto è stato necessario utilizzare il linguaggio *SQL*, come verrà descritto nei paragrafi successivi, per creare nuove tabelle all'interno del *database* di ResCult.

6.3.2 L'interfaccia grafica di PostgreSQL

Una delle caratteristiche principali di *PostgreSQL* è il fatto di essere un modello *client-server* e cioè i dati vengono amministrati in modo centralizzato e messi a disposizione di più utenti. Questo *software*, infatti, consta di due applicazioni principali che sono il *Server*, ovvero *Postmaster*, e il *Client* con *PgAdmin*, interfaccia grafica, o con *Psql*, interfaccia a linea di comando. In questa tesi si è fatto riferimento al *client PgAdmin*, un'applicazione utilizzata sia dagli amministratori della banca dati che dagli utenti in grado di gestire i permessi deducendoli dal *database PostgreSQL*. Grazie a questa interfaccia è possibile, connessi al server, vedere la struttura del *database* e creare, modificare, cancellare gli oggetti presenti al suo intero in modo molto semplice e immediato.

6.3.3 PostGis, estensione spaziale di PostgreSQL

PostGis è l'estensione spaziale per *PostgreSQL* ed è fondamentale in quanto aggiunge ai dati classici del *database*, dati di tipo spaziale. Si parlerà quindi di un *geodatabase*, o *database geografico/spaziale*, capace di gestire sia dati alfanumerici che vettoriali quali punti, linee o poligoni. Si tratta di un *software Open Source*, quindi anche in questo caso accessibile a tutti, che mette in relazione i dati di una mappa con tabelle di dati non georiferiti per mezzo del linguaggio *SQL*.

6.4 Popolamento del database di ResCult

In questo elaborato è stato utilizzato il *software PostgreSQL* con interfaccia grafica *PgAdmin*. Dopo aver aperto *PgAdmin*, è stato creato un nuovo *database* denominato *12mar_rescult* (figura 161), e tramite il comando *Restore* è stato possibile caricare il

⁶⁶ Introduzione a SQL, V. Gentile, 2015

backup del *database* di ResCult. Infatti, in questo progetto non sono stati realizzati né un nuovo modello concettuale né una banca dati da zero, bensì sono stati implementati quelli già progettati dal *team* di ResCult, la cui struttura viene descritta nel sottoparagrafo 2.3.2.

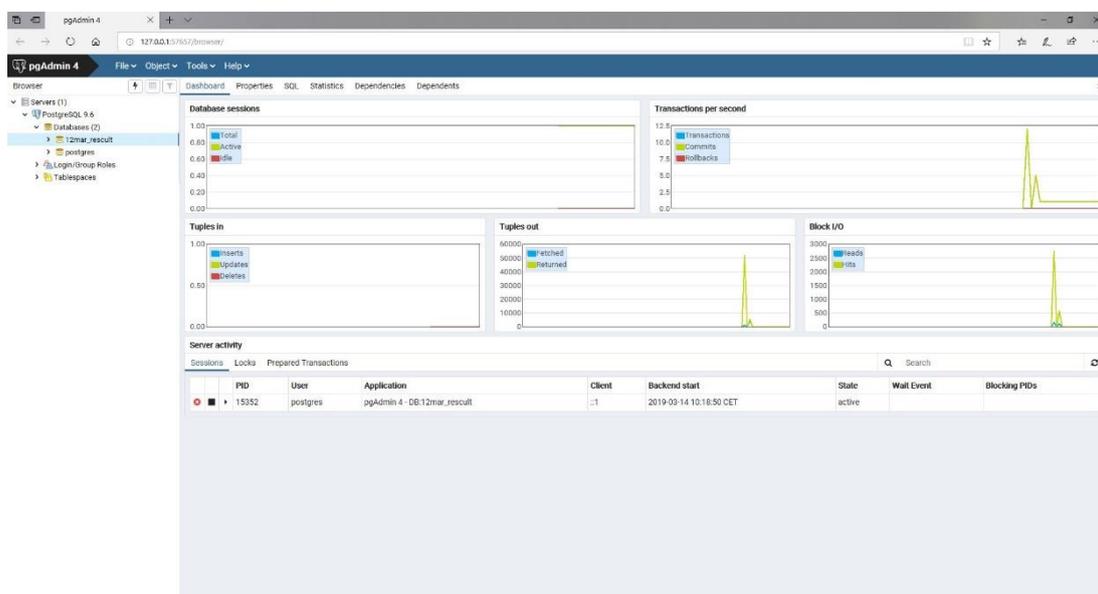


Fig. 161 – Nuovo DB in PgAdmin

In *QGis* sono stati creati tre differenti gruppi, uno per ogni livello di dettaglio realizzato in precedenza e sono stati importati tramite il *Aggiungi Vettore* tutti gli *shapefile* precedentemente realizzati, ciascuno nella categoria di appartenenza. Inoltre nel *LOD_0* è stato caricato il *DTM* relativo alla zona oggetto del caso studio, nel *LOD_1* è stato carico il *DSM* relativo alla zona oggetto del caso studio ottenuto da *Photoscan* e in un gruppo a parte è stata caricata la *OSM*, *Open Street Map* scaricata dal sito <https://www.openstreetmap.org/#map=8/43.305/14.222> (figura 162).

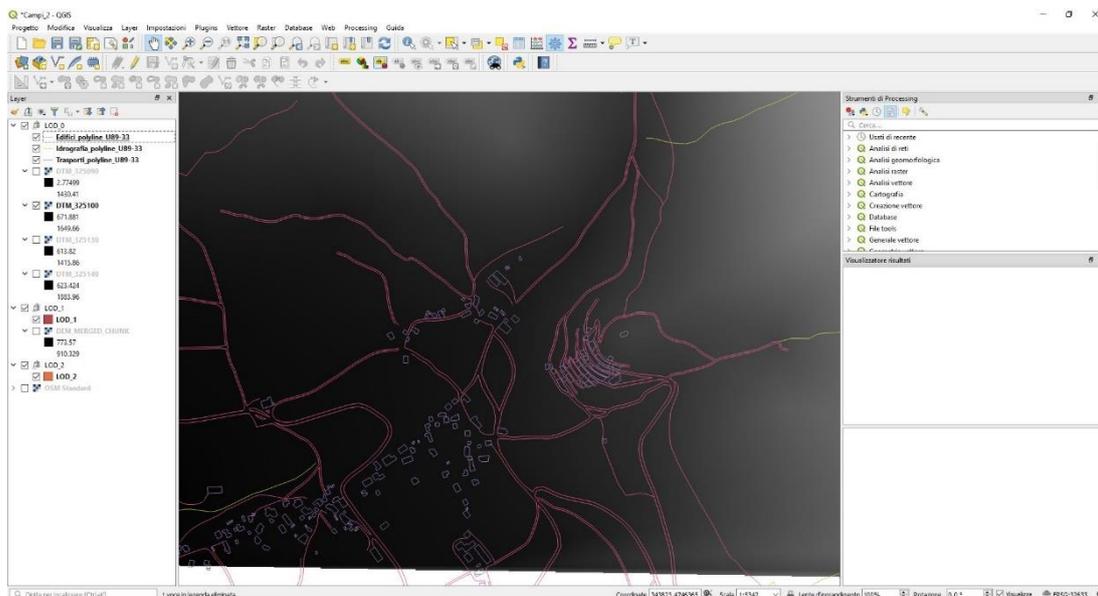


Fig. 162 – Importazione degli shapefile in QGis

A questo punto si è proceduto con il popolamento del *database* da *QGis* tramite l'ensione spaziale *PostGis*. Un primo tentativo è stato fatto con lo *shapefile* dell'idrografia. È stato necessario innanzitutto connettere il progetto *QGis* con il *database 12mar_rescult* grazie all'estensione *PostGis*. (figura 163).

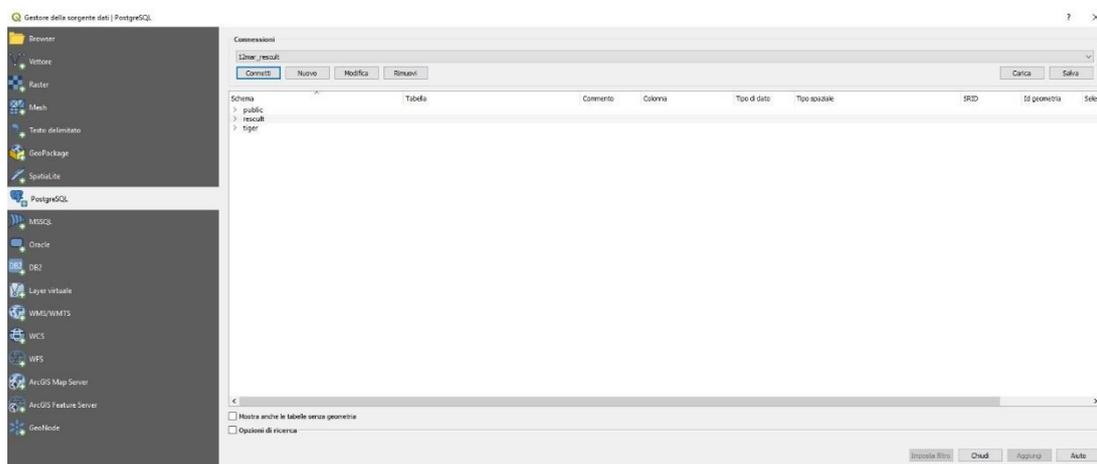


Fig. 163 – Connessione al DB 12mar_rescult

Dalla schermata di riferimento è stata selezionata e aggiunta in *QGis* la tabella *hy_hydroobject* presente nella banca dati di ResCult, facendo attenzione alla geometria e al sistema di riferimento poiché per quanto riguarda l'idrografia, si parla di

Lo stesso procedimento è stato ripetuto sia per i trasporti che per le planimetrie degli edifici ma nessuna delle operazioni è andata a buon fine in quanto appunto non era possibile il salvataggio.

A questo punto è stato necessario trovare una soluzione al problema al fine di popolare il *database* in maniera corretta.

6.4.1 Aggiornamento dei trigger

Uno dei tentativi fatti per risolvere il problema è stato quello di lavorare direttamente in *PgAdmin* e andare ad aggiornare i trigger per introdurre nuove geometrie. I *trigger* sono particolari *stored procedures*, ovvero moduli che incapsulano un codice da riutilizzare automaticamente al verificarsi di determinati eventi⁶⁷. È stato quindi cancellato il *trigger* della tabella *hy_hydroobject* presente nella banca dati tramite il comando *delete/drop* e rilanciato un nuovo *script* in linguaggio SQL come mostrato in figura 166.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION "rescult"."trigger_hy"()
  RETURNS trigger AS
  $BODY$begin NEW."idrescultho" := 'rescult_ho' || NEW."ho_serial";
return NEW;
end; $BODY$
LANGUAGE plpgsql VOLATILE
COST 100;
ALTER FUNCTION "rescult"."trigger_hy"()
  OWNER TO postgres;

CREATE trigger "trigger_hy"
  BEFORE INSERT OR UPDATE OF "idrescultho"
  ON "rescult"."hy_hydroobject"
  FOR EACH ROW
  EXECUTE PROCEDURE "rescult"."trigger_hy"()
```

Fig. 166 – Script per la creazione di un nuovo trigger

A questo punto sono state ripetute le stesse operazioni sia per i trasporti che per gli edifici bidimensionali. Sono stati creati nuovi *trigger* per entrambe le tabelle e sono stati ripetuti i passaggi descritti nel paragrafo 6.4. Si può affermare che per l'idrografia e per i trasporti questa procedura ha funzionato poiché ci si riferisce a entità non

⁶⁷ Basi di dati. Introduzione a PostgreSQL, K. Donno, 2016

complesse. Diverso è stato il caso dei *building*, per cui questo procedimento non ha portato ad alcun risultato. Data la complessità dell'entità *bubuilding* è stato necessario inserire a parte le nuove entità e popolare tramite un nuovo *script* le tabelle.

6.5 Creazione di nuove tabelle

Il secondo metodo utilizzato per popolare il *database* è stato quello di generare una nuova tabella per ciascun *layer* oggetto di studio andando a inserire da zero gli oggetti all'interno della banca dati. È opportuno specificare che i passaggi che verranno descritti di seguito per quanto riguarda la creazione di una nuova tabella di idrografia, sono stati ripetuti per tutti gli altri file al fine di avere un popolamento completo del *database*. Inizialmente, dal menù fisso *Database*, grazie al comando *DB manager – Importa Layer* è stato importato lo *shapefile* dell'idrografia denominando la tabella relativa *hy_hydroobject_campi* (figura 167).

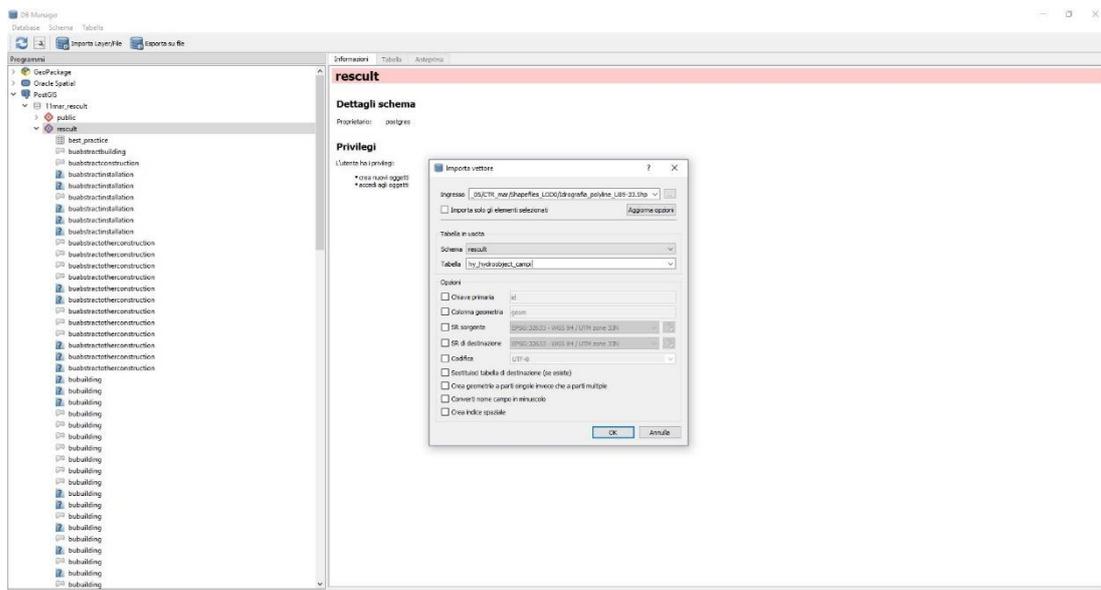


Fig. 167 – Importazione dello *shapefile* idrografia

A questo punto, in *PgAdmin* è stato possibile osservare la nuova tabella caricata (figura 168).

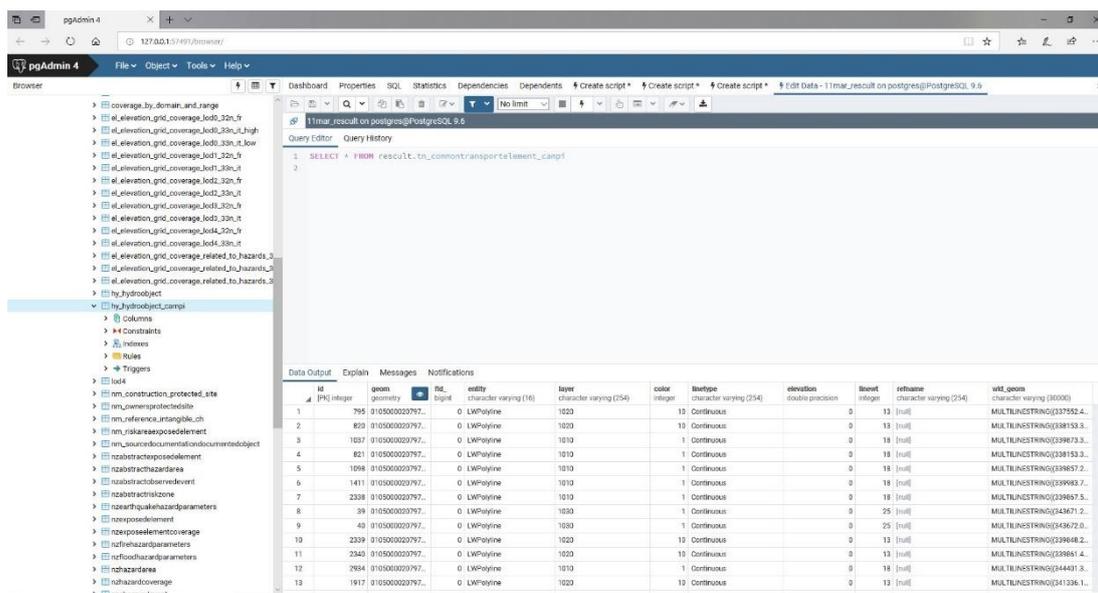


Fig. 168 – Nuova tabella in PgAdmin

Al fine di indagare se la geometria del file idrografia fosse corretta, è stato necessario creare all'interno della tabella *hy_hydroobject_campi* una nuova colonna *wkt_geom* (figura 169) con all'interno dati di tipo *character varying* di lunghezza 5000 (figura 170). L'acronimo *wkt* sta per *Well-Known Text*. Si tratta di uno specifico linguaggio di controllo del testo creato per rappresentare oggetti di geometria vettoriale su una mappa. L'equivalente binario, noto come il *Well-Known Binary (wkb)*, viene utilizzato per trasferire e memorizzare le stesse informazioni all'interno del *database*⁶⁸.

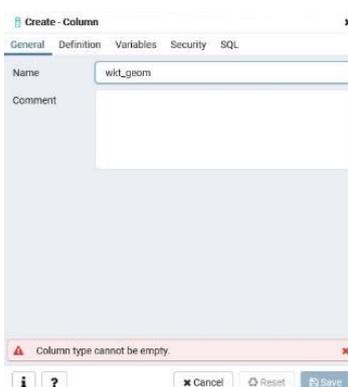


Fig. 169 – Colonna Wik_geom

⁶⁸ <https://postgis.net/>

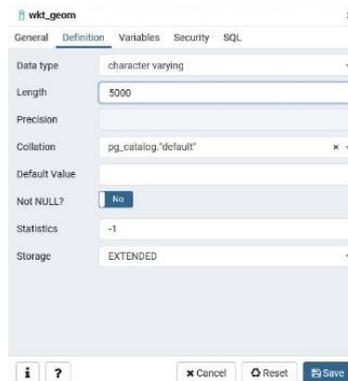


Fig. 170 – Definizione delle caratteristiche della colonna *wkt_geom*

A questo punto è stato lanciato un nuovo *script* SQL al fine di associare alla colonna appena creata *wkt_geom* la corretta geometria (figura 171).

```
UPDATE rescult."hy_hydroobject_campi" set wkt_geom = ST_AsText(geom)
```

Fig. 171 – Script per l'associazione della geometria corretta

Passaggio successivo è stato l'accorpamento della nuova tabella *hy_hydroobject_campi* creata autonomamente, con la tabella *hy_hydroobject* già presente nella banca dati di ResCult. Per far ciò è stato necessario confrontare le colonne presenti nella tabella *hy_hydroobject-campi* e verificare quali di queste non comparissero all'interno in *hy_hydroobject*. Sono state quindi create le colonne degli attributi mancanti all'interno della tabella *hy_hydroobject*. Di seguito vengono riportate alcune immagini a titolo esemplificativo della creazione delle colonne (figure 172, 173, 174, 175).

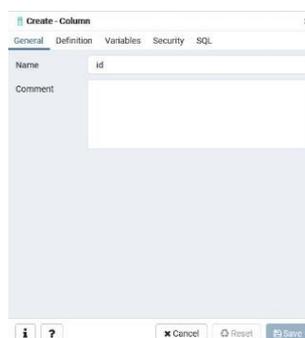


Fig. 172 – Creazione della colonna *ID*

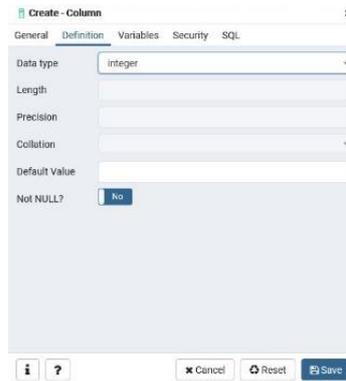


Fig. 173 – Definizione della colonna ID



Fig. 174 – Creazione della colonna WTK_GEOM

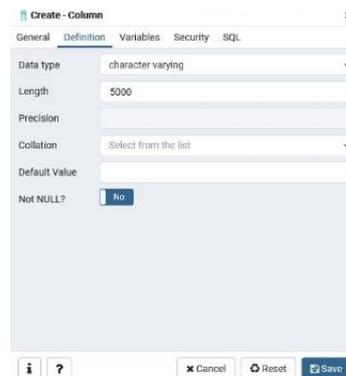


Fig. 175 – Definizione della colonna WKT_GEOM

Sono state quindi aggiunte alla tabella *hy_hydroobject* le colonne *id*, *fid_*, *entity*, *layer*, *color*, *linetype*, *elevation*, *linewt*, *refname*, *wket_geom*. L'unica colonna che non è stata aggiunta è quella con denominazione *geom* in quanto già presente con le stesse caratteristiche. A questo punto, lanciando un nuovo *script* (figura 176) è stato possibile accoppiare le due tabelle.

```

insert into result.hy_hydroobject (id,geometry,fid_,entity,layer,color,linetype,elevation,linewt,refname,wkt_geom)
select (id,geom,fid_,entity,layer,color,linetype,elevation,linewt,refname,wkt_geom)
from result.hy_hydroobject_campi

```

Fig. 176 – Script per l'accorpamento delle tabelle

Di seguito si riportano gli *script* utilizzati in fase di progetto per il popolamento delle tabelle relative ai trasporti, agli edifici del LOD_0, al modello del LOD_1 e al modello del LOD_2 (figure 177 – 184)

```

UPDATE result."tn_commontransportelement_campi" set wkt_geom = ST_AsText(geom)

```

Fig. 177 – Script per l'associazione della geometria corretta, trasporti

```

insert into result.tn_commontransportelement (id,geometry,fid_,entity,layer,color,linetype,elevation,linewt,refname,wkt_geom)
select (id,geom,fid_,entity,layer,color,linetype,elevation,linewt,refname,wkt_geom)
from result.tn_commontransportelement_campi

```

Fig. 178 – Script per l'accorpamento delle tabelle, trasporti

```

UPDATE result."bubuilding_lod0_campi" set wkt_geom3 = ST_AsText(geom3)

```

Fig. 179 – Script per l'associazione della geometria corretta, edifici LOD_0

```

insert into result.bubuilding (id,geom3,fid_,entity,layer,color,linetype,elevation,linewt,name,wkt_geom3)
select (id,geom3,fid_,entity,layer,color,linetype,elevation,linewt,refname,wkt_geom3)
from result.bubuilding_lod0_campi

```

Fig. 180 – Script per l'accorpamento delle tabelle, edifici LOD_0

```

UPDATE result."bubuilding_lod1_campi" set wkt_geom = ST_AsText(geom)

```

Fig. 181 – Script per l'associazione della geometria corretta, modello LOD_1

```

insert into result.bubuilding (id,geom,fid_,entity,layer,color,linetype,elevation,linewt,name,wkt_geom)
select (id,geom,fid_,entity,layer,color,linetype,elevation,linewt,refname,wkt_geom)
from result.bubuilding_lod1_campi

```

Fig. 182 – Script per l'accorpamento delle tabelle, modello LOD_1

```

UPDATE result."bubuilding_lod2_campi" set wkt_geom2 = ST_AsText(geom2)

```

Fig. 183 – Script per l'associazione della geometria corretta, modello LOD_2

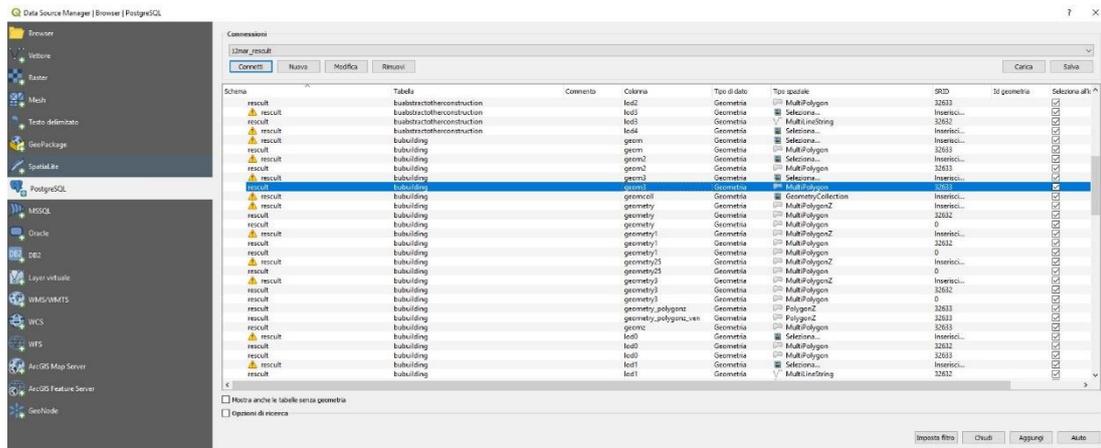


Fig. 189 – Inserimento bubuilding LOD_2

Importate le tabelle, è stato possibile avere una visione completa del lavoro fatto. Di seguito viene riportata la visualizzazione bidimensionale del LOD_0 (figura 190).

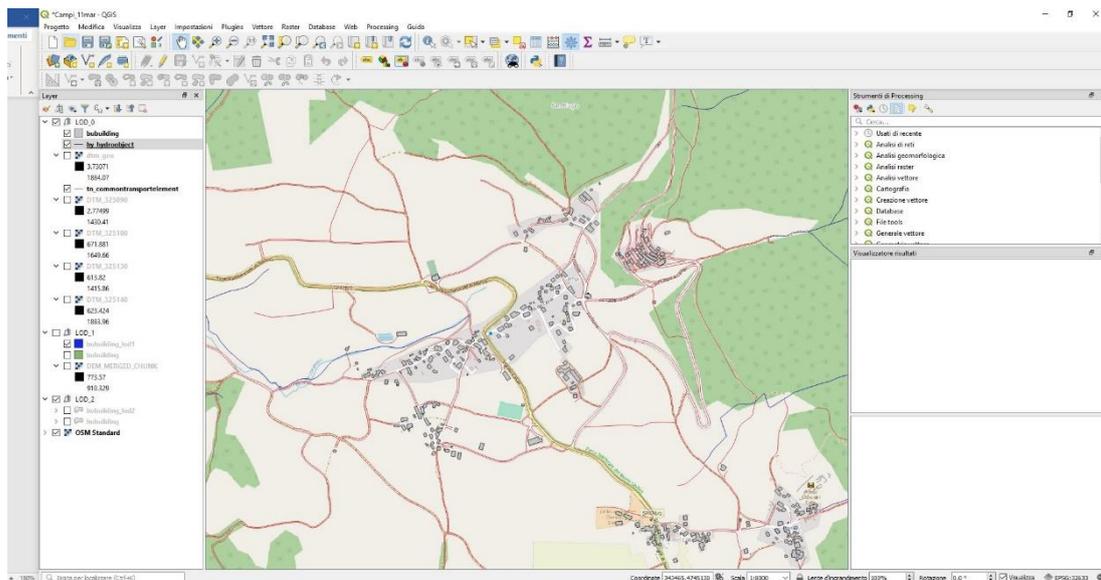


Fig. 190 – LOD_0

Grazie alla funzionalità *Mappa 3D* presente all'interno del software *QGIS*, è possibile visualizzare il LOD_1 tridimensionalmente. Per far ciò è stato sufficiente generare una nuova mappa 3D e configurarla in modo tale da far corrispondere il campo altitudine al DTM (figura 191).

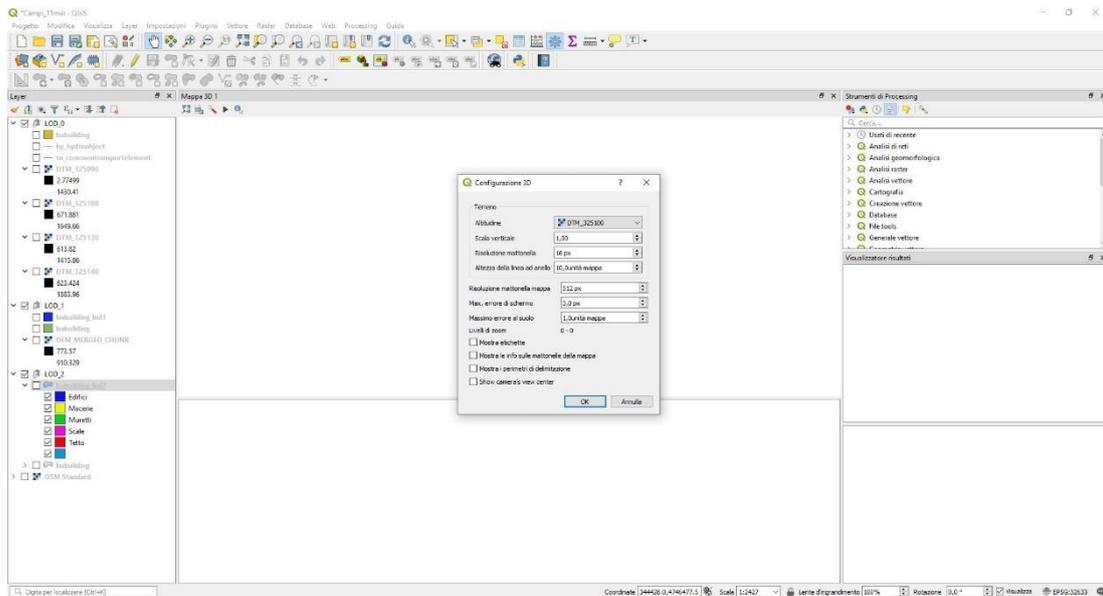


Fig. 191 – Impostazione dei parametri della mappa 3D

A questo punto dalle proprietà del *layer* riferito al LOD_1, è stata abilitata la visualizzazione 3D con blocco altitudine *assoluto* (figura 192).

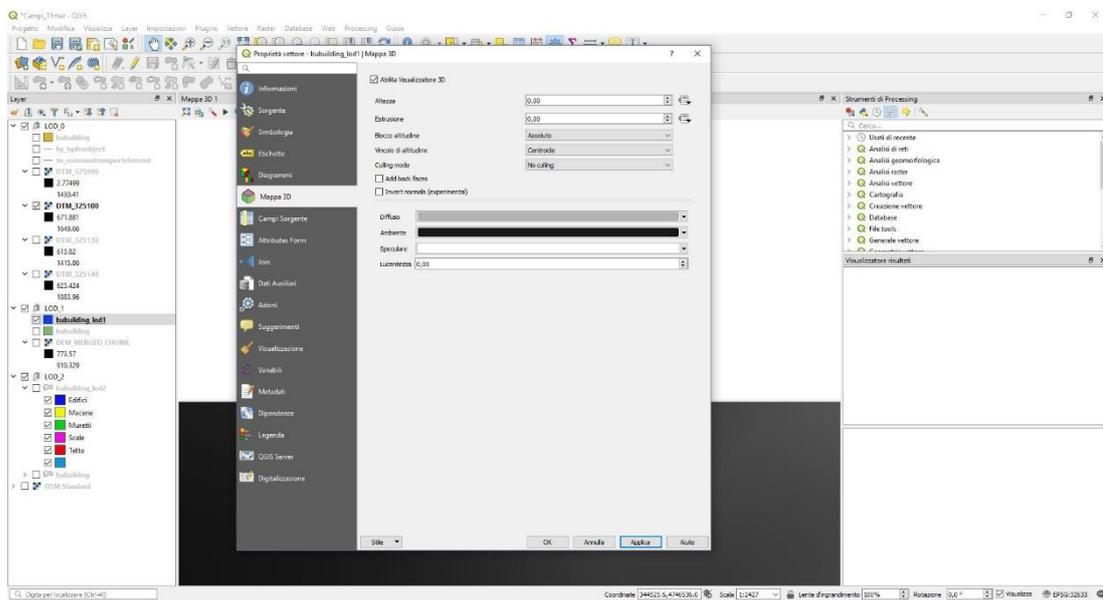


Fig. 192 – Impostazione dei parametri della mappa 3D per il LOD_1

Di seguito viene riportata l'immagine della mappa 3D riferita al LOD_1.

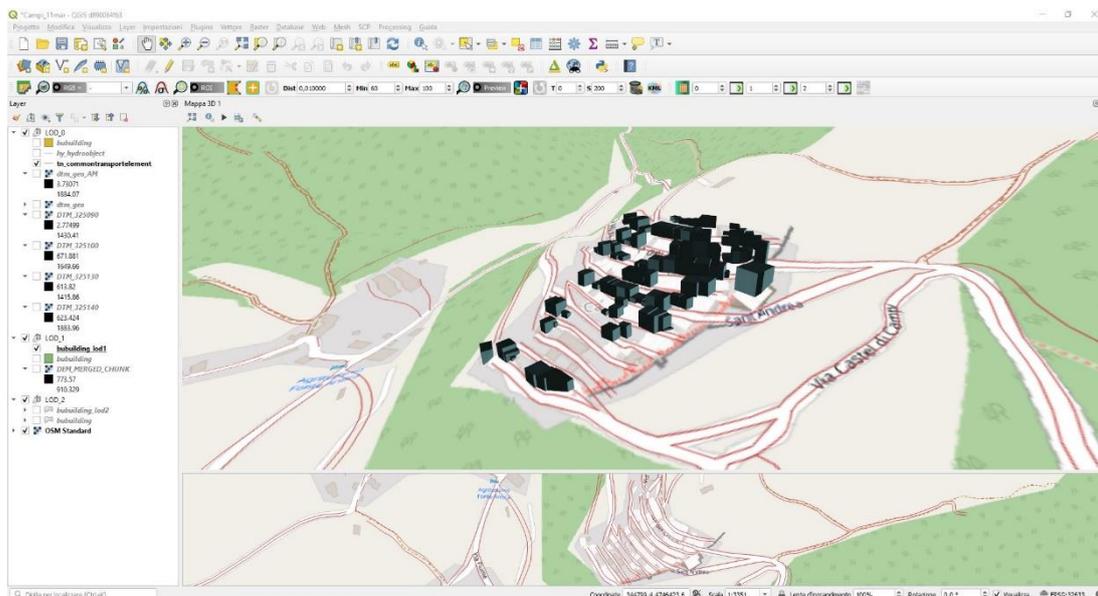


Fig. 193 – Mappa 3D del LOD_1

6.6.1 Categorizzazione per tipologia del LOD_2

Per quanto riguarda la visualizzazione del LOD_2, ciascuna entità è stata categorizzata secondo la tipologia di riferimento. Grazie all'ultima versione di QGIS, è stato possibile impostare, dalla proprietà della mappa 3D, delle regole al fine di rappresentare ogni entità con un colore differente a seconda del campo comune *Tipologia* (figura 194).

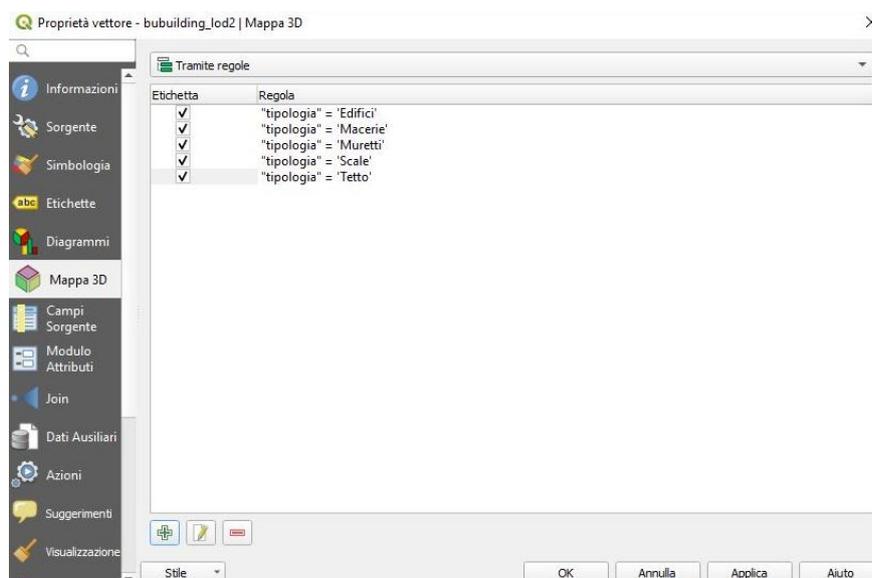


Fig. 194 – Categorizzazione LOD_2 tramite regole

Si riporta il LOD_2 nella rappresentazione tridimensionale, categorizzato per tipologia (figura 195).

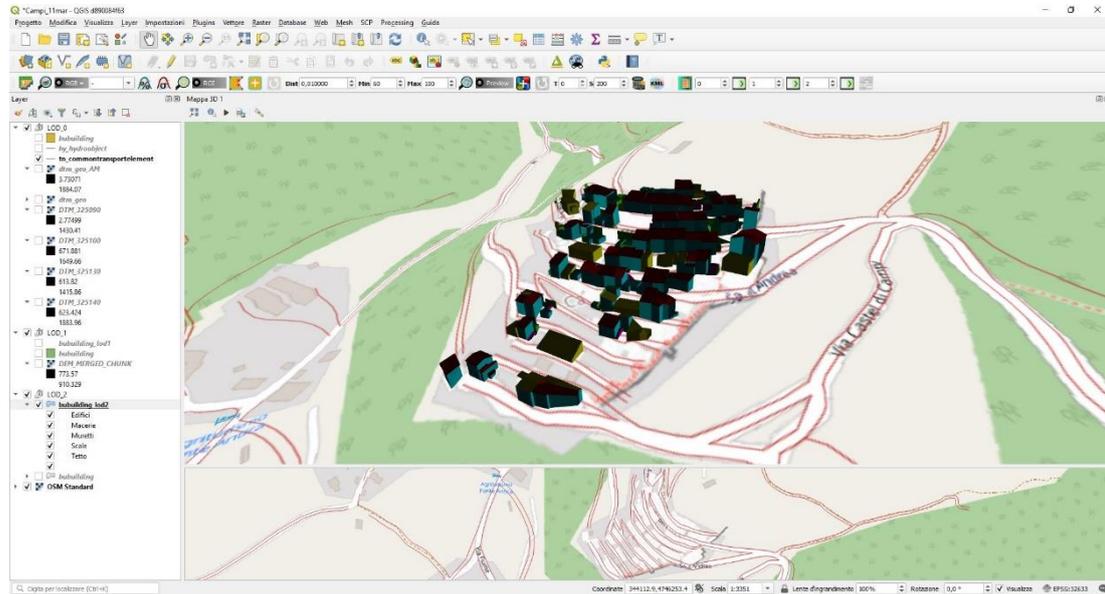


Fig. 195 – Mappa 3D del LOD_2

CAPITOLO 7

Conclusioni

Le calamità naturali rappresentano una minaccia rilevante per il patrimonio culturale in quanto talvolta causano danni irreparabili, spesso aggravati da interventi di emergenza inadeguati. La necessità di intervenire in modo immediato da parte delle squadre di soccorso porta all'attuazione di piani di intervento e recupero che solitamente non tengono conto della conservazione del Patrimonio Culturale stesso.

Obiettivo di questa tesi è stato quello di proporre una metodologia finalizzata alla rappresentazione di un sistema informativo/conoscitivo tridimensionale che garantisca la continuità, la consultazione e l'implementazione dei dati rendendoli accessibili in remoto e comprensibili anche da non esperti. Si è cercato, quindi, di sviluppare un metodo propedeutico alla gestione, analisi ed elaborazione dei dati in formato digitale con scopo primario l'ampliamento di un *database* già esistente per il patrimonio storico-artistico, utile alla Protezione Civile per limitare gli impatti dei disastri naturali sul patrimonio.

Il lavoro si è incentrato particolarmente sulla realizzazione di un modello tridimensionale partendo da nuvole di punti generate grazie all'elaborazione dei dati ottenuti dal rilievo metrico integrato. Per la modellazione dell'intera frazione di Campi Alto, si è pensato a una tecnica che potesse essere il più veloce ed efficace possibile. Per questo motivo è stato deciso di sviluppare il modello completo in *AutoCAD*. Il tempo impiegato per la sua realizzazione è stato di tre settimane, in quanto il procedimento non è automatico, bensì è stato necessario associare manualmente ad ogni punto disegnato la sua coordinata. A tal proposito, sarebbe interessante realizzare un modello tridimensionale con tecniche differenti rispetto a quella utilizzata in questo

elaborato, al fine di poter confrontare i risultati ottenuti sia a livello di dettaglio che a livello di tempistiche. Ad esempio, potrebbe essere sperimentata la metodologia BIM (*Building Information Modeling*) applicata ai beni culturali e di edilizia storica, anche nota come *Historical BIM*, oppure si potrebbe sperimentare l'utilizzo di un nuovo *software*, quale *CityEngine*, ideale per progettare e creare ambienti urbani virtuali tridimensionali.

Nella seconda parte dell'elaborato, l'attenzione si è spostata sull'implementazione dell'EID di ResCult, comprovando come quest'ultimo sia davvero una banca dati funzionale e interoperabile. Il programma ResCult non solo si pone come obiettivo quello di creare un modello concettuale che metta insieme gli standard già presenti a livello europeo, ma cerca anche di trovare un modo per rappresentare dettagliatamente, e quindi valorizzare, la ricchezza e la complessità del Patrimonio Culturale. Per raggiungere gli obiettivi di interoperabilità, in questo elaborato ci si è basati su modelli di dati esistenti aggiungendo estensioni e integrazioni al fine di ottenere un *database* conforme agli standard già definiti ma allo stesso tempo innovativo. Infatti, per il popolamento della banca dati, sono state introdotte nuove tabelle tramite linguaggio SQL. Questa metodologia ha permesso di velocizzare il lavoro, infatti pur non conoscendo dettagliatamente il linguaggio SQL, è stato relativamente semplice adattarsi e capirne i meccanismi. L'auspicio per questa tesi è che il progetto sviluppato non rimanga fine a sé stesso, ma possa servire per porre le basi per un più ampio e futuro programma. Si potrebbe ad esempio completare il lavoro svolto su Campi Alto, spingendosi fino alla modellazione del livello di dettaglio 3 e implementando ulteriormente il *database*.

In definitiva, questo elaborato si pone come punto di partenza per nuovi sviluppi futuri, tenendo conto del fatto che i tempi per la modellazione sono stati relativamente brevi se rapportati al risultato finale, e la metodologia utilizzata per l'implementazione dell'EID di ResCult può ritenersi una buona base per successive integrazioni.

BIBLIOGRAFIA

[1] Agisoft PhotoScan Manuale d'uso Versione Professional, Versione 1.2, 2016.

Fonte: agisoft.com, 2016

[2] Architettura e natura di paesaggi archeologici. Analisi spaziali in ambiente Web-GIS per la conservazione e la comunicazione della memoria storica: il Parco Archeominerario di San Silvestro, Colucci 2012

[3] Basi di dati. Introduzione a PostgreSQL, K. Donno, 2016

[4] Caratteristiche tecniche DJI Mavic PRO. Fonte: djitop.com

[5] Caratteristiche tecniche DJI Phantom 4 PRO. Fonte: djitop.com

[6] Caratteristiche tecniche DJI Spark. Fonte: djitop.com

[7] Castello di Campi – Norcia (PG). Fonte: iluoghidelsilenzio.it, 2015

[8] Cartografia Numerica a scala 1:500; Capitolato Speciale d'Appalto; Prescrizioni Tecniche; Repertorio degli elementi e delle entità; Contenuti e Codici, 1992

[9] Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio, D. Lgs. 22.1.2014, n. 42 e succ. mm. e int., art. 6, c. 2

[10] Concetti del modello relazionale ad oggetti, Sabrina Zardo, 2004

[11] Corso di Disegno dell'architettura, D. Colistra, 2012

[12] Deliverable D 2.1: European Interoperable Database (EID) conceptual model (first release). A cura di: F. Chirabrando, E. Colucci, P. Dabove, F. Matrone, M. Kamelifar, A. Lingua, F. Noardo, A. Spanò, 2017

- [13] Dispensa di informatica sul *database* e sul *DBMS*. Fonte: studiamo.it
- [14] Elementi di fotogrammetria digitale, M. Lo Brutto, 2005
- [15] Emergenza e ricostruzione dopo il terremoto: la resilienza comunitaria e gli interventi di sostegno, A. Mela, Viella 2010
- [16] Enciclopedia Treccani online. Fonte: treccani.it
- [17] Fotogrammetria da drone: basi teoriche della presa, requisiti di precisione e piano di volo. Corso: Utilizzo dei droni/SAPR per il rilevamento metrico e tematico del territorio, Conferenza ASITA 2016
- [18] Fotogrammetria, estensione del corso Misure, rilievo, progetto, Cannarozzo, Cucchiarini, Meschieri. Ed. Zanichelli, 2012
- [19] I comuni della Valnerina della Provincia di Perugia. Fonte: sanvalentinoterni.it
- [20] Introduzione a SQL, V. Gentile, 2015
- [21] Introduzione a UML. Laboratorio di Sistemi e Processi Organizzativi. G. P. Favini, 2007
- [22] Introduzione al concetto di Resilienza, Antonio Guadagno. Fonte: Seneta.it, Novembre 2018
- [23] Introduzione alla sismologia, G. P. Cimellaro, 2018
- [24] La Direttiva INSPIRE. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Fonte: insprambiente.gov.it
- [25] L'arte del rilievo, 2013. Fonte: katiatrovenzi.wixsite.com

- [26] L'importanza della progettazione per la “resilienza”, Il Giornale delle Fondazioni, 10/10/2016
- [27] Manuale di rilievo e documentazione digitale in archeologia, M.Bianchini. Ed. Aracne, 2008
- [28] Metashape: la nuova frontiera della fotogrammetria, P. Meloni, 2019
- [29] Mezzi aerei non convenzionali..., F. Chiabrando, A. Lingua, P. Maschio, F. Rinaudo, A. Spanò. Op. cit., Maggio 2012
- [30] Organizzare e comunicare l'emergenza nella PA, S. M. Cianciotta, Maggiori Editore, Luglio 2015
- [31] Parco Nazionale dei Monti Sibillini. Fonte: naturaitalia.it
- [32] QGIS – Il leader dei software GIS Desktop *Open Source*. Fonte: qgis.org
- [33] Rappresentazione di modelli urbani CityGML su un globo virtuale, A. Florio, 2012
- [34] Resilienza come concetto generale e in età evolutiva, appunti di Psicologia
- [35] Resilienza e sostenibilità per il riuso del patrimonio costruito. D. Besana, A. Greco, M. Morandotti, 2018
- [36] Resilienza organizzativa: aspetti concettuali ed implicazioni manageriali. Giuseppe Mattia Lemetre, 2018
- [37] Resilienza tra territorio e comunità. Approcci, strategie, temi e casi. A. Colucci, P. Cottino. Collana “Quaderni dell'Osservatorio” n. 21, 2015

- [38] Rilievo fotogrammetrico da drone per la generazione di modelli termici di porzioni di territorio, M. Pinto, 2016
- [39] Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030, United Nations
- [40] Sistemi Informativi Geografici, un percorso attraverso concetti e nozioni fondamentali per adattarsi nel vasto mondo della Scienza della Informazione Geografia, E. Caiaffa, 2006
- [41] Smart City, l'esempio di Rotterdam città resiliente. Fonte: greenMe.it, Novembre 2013
- [42] Tecnica SfM "Structure from Motion" e fotogrammetria. Fonte: enea.it
- [43] Tecniche innovative per il rilievo e la modellazione del territorio, L. Amato
- [44] Terremoto del Centro Italia cambia nome in Sequenza Amatrice-Norcia-Visso. Fonte: ansa.it, Febbraio 2017
- [45] Terremoto del Centro Italia del 2016 e del 2017. Fonte: wikipedia.org
- [46] Vocabolario Treccani online. Fonte: treccani.it

SITOGRAFIA

- [1] <http://3deffe.com/> ultima consultazione: Febbraio 2019
- [2] <https://3dmetrica.it/convergo/> ultima consultazione: Gennaio 2019
- [3] <http://areeweb.polito.it/direct/>, Marzo 2019
- [4] <http://it.downloadastro.com/> ultima consultazione: Febbraio 2019
- [5] [https://it.wikipedia.org/wiki/Campi_\(Norcia\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Campi_(Norcia)) ultima consultazione: Gennaio 2019
- [6] https://it.wikivoyage.org/wiki/Monti_Sibillini ultima consultazione: Gennaio 2019
- [7] <http://www.aemmesurveying.it/> ultima consultazione: Febbraio 2019
- [8] <http://www.blueap.eu/site/> ultima consultazione: Dicembre 2018
- [9] <http://www.diati.polito.it/ricerca/progetti/schede/rescult> ultima consultazione: Marzo 2019
- [10] <https://www.gsa.europa.eu/> ultima consultazione: Febbraio 2019
- [11] <http://www.heracles-project.eu/> ultima consultazione: Dicembre 2018
- [12] <https://inspire.ec.europa.eu/> ultima consultazione: Marzo 2019
- [13] <http://www.luoghidelsilenzio.it/> ultima consultazione: Gennaio 2019
- [14] <https://postgis.net/> ultima consultazione: Marzo 2019

[15] <http://www.protezionecivile-imbersago.com/> ultima consultazione: Gennaio 2019

[16] <http://www.umbriageo.regione.umbria.it/> ultima consultazione: Febbraio 2019

[17] <http://www.valledipreci.it/> ultima consultazione: Gennaio 2019

ALLEGATI

RINGRAZIAMENTI

A conclusione di questo mio percorso universitario, sento il dovere di ringraziare tutti coloro che mi hanno sostenuta in questi anni pieni di vittorie e di sconfitte.

Ringrazio il team del Laboratorio di Geomatica, DIATI e DAD, per avermi dato la possibilità di lavorare con loro e per avermi incoraggiata ogni giorno.

Ringrazio le tesiste, nonché amiche, Valeria, Gloria e Alice perché il vostro sostegno giornaliero è stato per me di grande aiuto.

Un ringraziamento speciale va ai miei genitori che, con il loro dolce e instancabile sostegno, sono stati la mia forza. Grazie per tutti i sacrifici che avete fatto per permettermi di arrivare fin dove sono ora e grazie per aver creduto in me anche quando io stessa non riuscivo a farlo.

Ringrazio le mie sorelle: Roberta, perché “che tu dica di farcela o non farcela, avrai comunque ragione”, e Claudia, per avermi lasciato un posticino nel suo letto ogni volta che scendevo a casa. Ringrazio Francesco per avermi tranquillizzata in tutti i momenti di stress post-esame.

Ringrazio Nonna Catò, che ha sempre pregato affinché Dio mi illuminasse la mente. Grazie per il nostro appuntamento quotidiano: dimmi dove sei così, anche se sei lontana, io ti vedo ed è come se fossi lì con te.

Ringrazio la mia famiglia universitaria. Sono stata fortunata, perché non ho trovato solo una stanza, ma molto di più. Grazie a Sofia, la mia valvola di sfogo, e a Marta, per i consigli di stile e di vita. Grazie ai miei coinquilini acquisiti: Alessandro, Giorgio, Nicola, Nino e Peppe.

Ringrazio il gruppo Triangoli, perché nonostante la distanza noi siamo rimasti quello che eravamo. In particolare, Orazio e Cappucci: siete stati la mia via di fuga.

Ringrazio tutti coloro che hanno vissuto con me questi anni intensi di Poli. Vi ringrazio perché non siete stati semplicemente colleghi o compagni di corso, ma amici sulla cui spalla poggiare la testa per avere un po' di pace nei momenti più duri.

Ringrazio il gruppo Pizzarrò per i ritrovi al Carrefour, le gite in bici al Valentino e per non avermi mai abbandonata. In particolare, Daniele, Ilaria, Isa, Claudio, Giorgio, Giulia e Serenella.

Un grazie super va a CoccoMele per essersi sempre preoccupato della mia salute e del mio stomaco, per avermi sempre tenuto un posto in aula studio, per aver condiviso con me tutti i cornetti integrali ai frutti di bosco e per esser sempre riuscito a strapparmi un sorriso sincero.

Ringrazio Cciusi per tutte le avventure che abbiamo vissuto fianco a fianco: al Comala, a Goja del Pis, a Rivoli, a Opera, in Verdi, in macchina. Io e te insieme non ne facciamo mezzo ma a me, va bene così. Con affetto, RRosario.

Ringrazio Agnese per aver tenuto testa ai miei mal di pancia da ansia e per esser stata un'amica sempre presente. Grazie a Margherita per la sua infinità spontaneità e a Luana per avermi tolto il primato delle storie dell'Ishtagra.

Ai miei "compagni di gruppo" un semplice grazie non basta per tutti i progetti fatti insieme, per le notti insonni, per le attese al pronto soccorso, per i pranzi condivisi, i soldi per le stampe. Con voi ho affrontato ogni esame senza paura, consapevole del fatto che eravamo insieme e che i nostri sguardi stanchi erano gli stessi pronti a darci conforto l'un l'altro. Grazie perché io mi sono sentita davvero invincibile al vostro fianco e perché mi avete insegnato che a volte un abbraccio può davvero tirarti su di morale e che un batti cinque significa "siamo tutti sulla stessa barca, vedrai che ce la faremo". I lavori di gruppo sono davvero pesanti, ma ti portano alla conclusione che casa mia è casa tua, e che non si è soli mai. Grazie quindi a Zona, Alli, Ste, Leria, Sissi e LucaReginalli. In particolare, grazie al mio Gladiatore, una roccia, e grazie a Luke per avermi insegnato che essere diversi non vuol dire non riuscire a comprendersi.

Infine, ringrazio me stessa per esser stata sempre troppo severa nei miei confronti, per non essermi mai sentita abbastanza, per aver pensato di non farcela, per aver creduto di non essere all'altezza. Mi ringrazio perché mi sono auto dimostrata di essermi sbagliata. Ho superato i miei limiti, sono arrivata alla fine, e posso dire di essere orgogliosa del mio percorso e di possedere tutte le forze sufficienti a superare i miei ostacoli. Finalmente, posso perdonarmi.

Ad maiora.