



**Politecnico
di Torino**

***Corso di laurea Magistrale in Ingegneria per
l'ambiente e il territorio***

Sessione di laurea di marzo 2023

***Utilizzo di dati ad alta risoluzione a supporto del Piano
di Protezione Civile e del Sistema Informativo
Territoriale: il caso studio del comune di Livorno
Ferraris***

Relatore:

Chiar.mo Prof. Piero Boccardo DIST

Correlatore:

Chiar.mo Prof Stefano Paolo Corgnati DENERG

Candidato:

Antonio Propato

Anno accademico 2022 - 2023

In copertina: Polito logo 2021 blu

UTILIZZO DI DATI AD ALTA RISOLUZIONE A SUPPORTO DEL
PIANO DI PROTEZIONE CIVILE E DEL SISTEMA INFORMATIVO
TERRITORIALE: IL CASO STUDIO DEL COMUNE DI LIVORNO
FERRARIS

Proprietà letteraria, tutti i diritti riservati. La struttura ed il contenuto del presente volume non possono essere riprodotti, neppure parzialmente, salvo espressa autorizzazione. Non ne è altresì consentita la memorizzazione su qualsiasi supporto (magnetico, magnetico-ottico, ottico, cartaceo, ecc.).

Benché l'autore abbia curato con la massima attenzione la preparazione del presente volume, Egli declina ogni responsabilità per possibili errori ed omissioni, nonché per eventuali danni dall'uso delle informazioni ivi contenute.

Seduta di laurea del 28/03/2023

INDICE GENERALE

ABSTRACT	22
1. INTRODUZIONE	27
2. STRUCTURE FROM MOTION.....	31
3. CASO STUDIO: LIVORNO FERRARIS	33
3.1 Il comune nel contesto territoriale	33
3.2 Il SIT comunale	34
3.3 Il piano comunale di protezione civile	38
3.1.1 Il piano vigente a Livorno Ferraris	38
4. DATASET	39
4.1 Immagini aeree ottiche nadirali e oblique	39
4.2 Acquisizione laser scanning (LiDAR).....	40
5.1 Workstation	43
5.1 Software	44
5.1.1 QGIS.....	44
5.1.2 Cloud Compare	45
5.1.3 Agisoft Metashape.....	45

5.1.4 ENVI LiDAR.....	45
5.1.5 GisMaster	45
5.1.5 ArcGis Pro	46
6. METODOLOGIA OPERATIVA.....	47
6.1 Elaborazione delle immagini.....	47
6.2 Import ed operazioni preliminari sulla nuvola densa di punti	50
6.3 Classificazione automatica della nuvola di punti.....	53
6.3.1 Classificazione automatica dei punti a terra, calibrazione dei parametri – Metashape.....	53
6.3.2 Classificazione automatica dei punti su più classi, Metashape	56
6.3.3 Classificazione automatica dei punti, calibrazione dei parametri in ingresso - ENVI LiDAR.....	59
6.3.4.a ENVI LiDAR, prima classificazione.....	60
6.3.4.b ENVI LiDAR, seconda classificazione.....	67
6.3.4.c ENVI LiDAR, classificazione box model	68
6.3.3.c ENVI LiDAR, Gli edifici estratti	69
6.3.3.d ENVI LiDAR, Gli alberi estratti	70
6.4 Errori di classificazione automatica.....	71
6.4.1 Errata classificazione automatica dei punti del terreno - Metashape	71
6.4.2 Errata classificazione automatica dei punti su più classi – Metashape	72
6.4.3 Errata classificazione automatica dell’edificato –ENVI LiDAR.....	74
6.4.4 Errata classificazione automatica della vegetazione – ENVI LiDAR.....	75
6.4.5 Errata classificazione automatica delle linee elettriche –ENVI LiDAR	75

6.5 Classificazione manuale della nuvola di punti.....	77
6.5.1 Classificazione manuale dei punti – Cloud Compare	77
6.6 Generazione del DSM	79
6.6.1 Generazione del DSM – Metashape.....	79
6.6.2 Generazione del DSM – ENVI LiDAR.....	83
6.7 Generazione del DTM.....	81
6.7.1 Generazione del DTM – Metashape.....	82
6.7.2 Generazione del DTM – ENVI LiDAR.....	84
7. CREAZIONE DEL MODELLO TRIDIMENSIONALE	87
7.1 Mesh	87
7.2 Texture.....	88
7.3 Confronti Mesh e Texture.....	91
8. L'AGGIORNAMENTO DEL PIANO DI PROTEZIONE CIVILE	95
8.1 Scenari di rischio	96
8.1.1 Rischio radiologico, la centrale nucleare di Trino	96
8.1.2 Rischio radiologico, l'impianto EUREX Saluggia	97
8.1.2.a Piano di emergenza esterno EUREX	98
8.1.2.b Il monitoraggio di Arpa Piemonte	100
8.1.3 Il trasporto di combustibile nucleare dal deposito Avogadro.....	100
8.1.3.a Interventi di protezione previsti per incidente molto grave.....	101

8.1.3.b Interventi di protezione previsti per incidente grave	101
8.1.3.c Informazione alla popolazione	102
8.1.3.d Monitoraggio dell’acqua di falda e delle acque utilizzate a scopo potabile.....	102
8.1.4 L’impiego delle aree di emergenza di Livorno Ferraris	103
8.1.5 Rischio meteorologico	103
8.1.5.a Eventi verificatisi.....	106
8.1.5.b Forti piogge	105
8.1.5.c Ordine di sgombero	106
8.1.5.d Punti critici e di osservazione	106
8.1.6 Rischio industriale	109
8.1.6.a La centrale termoelettrica Livorno Ferraris	111
8.1.7 Rischio trasporto merci pericolose.....	111
8.1.8 Norme di comportamento da tenere in caso di emergenza.....	113
8.2 Gli allegati del piano	113
8.3 Analisi della popolazione	118
8.4 Le aree di emergenza.....	121
8.4.1 Le aree di attesa della popolazione.....	122
8.4.1.a Definizione delle aree di attesa – Piazza Possis	123
8.4.1.b Definizione delle aree di attesa – Piazza Galileo Ferraris	133
8.4.2 L’area di ammassamento soccorritori e risorse	140
8.4.3 Il campo base dei Vigili del fuoco	141
8.4.4 L’area di accoglienza o di ricovero	147
8.4.5 L’area di raccolta del bestiame	148
8.4.6 Il centro operativo comunale e il centro operativo misto	153

8.4.7 Polivalente	155
8.5 Le tavole realizzate.....	156
9 L'AGGIORNAMENTO DEL SIT COMUNALE	161
9.1 L'implementazione delle elaborazioni	161
9.1.1 L'import dell'ortofoto ad alta risoluzione	161
9.1.2 L'import degli shape file	163
9.2 L'applicativo GisMaster Protezione Civile	165
9.3 Assegnazione dell'altezza agli edifici	166
10 APPLICABILITÀ NEL RISCHIO METERELOGICO	
.....	171
10.1 Modellazioni su HEC-HMS ed HEC-RAS.....	171
11 APPLICAZIONI NEI VIGILI DEL FUOCO.....	176
11.1 Organizzazione attuale	177
11.2 Applicazione nella prevenzione incendi.....	178
11.3 Il supporto a persone con disabilità	178
11.3.1 Disabilità motoria	179
11.3.1.a Persone obese	181
11.3.2 Disabilità sensoriale.....	182



11.3.3 Mezzi da usare	185
11.4 Rischio meteorologico	187
11.5 Gestione e manutenzione della vegetazione.....	191
12 INFORMAZIONE ALLA POPOLAZIONE	193
13. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI.....	195

INDICE DELLE FIGURE

Figura 3.1 QGIS - La posizione di Livorno Ferraris nella regione Piemonte [5], [6].....	33
Figura 3.2 QGIS - La posizione di Livorno Ferraris provincia di Vercelli [7]	34
Figura 3.3 GisMaster – L’interfaccia grafica. Fonte: SIT Livorno Ferraris..	35
Figura 3.4 GisMaster - Il piano regolatore generale nel SIT. Fonte: SIT Livorno Ferraris.....	35
Figura 3.5 GisMaster – La tavola P2 “Assetto urbanistico generale” caricata sul SIT comunale. Fonte: SIT Livorno Ferraris	36
Figura 3.6 GisMaster – Il caricamento dei layer sul SIT comunale.....	36
Figura 3.7 GisMaster – Il modulo del catasto sul SIT comunale. Fonte: SIT Livorno Ferraris.....	37
Figura 3.8 GisMaster – Il modulo Piano regolatore. Fonte: SIT Livorno Ferraris.....	37
Figura 4.1 Sistema aereo integrato PhaseOne (a); Camera PhaseOne iXM-RS150F (b); Lente Rodenstock RS-50mm (c) – © Copyright 2020 Phase One A/S. Fonte: https://geospatial.phaseone.com/cameras/ixm-rs150f/	39
Figura 4.2 (a) Dotazione per il rilievo laser scanning [19]; (b) LIDAR Velodyne Puck LITE [20]; (c) Ricevitore GPS EMLID Reach RS2 [21]. ...	41
Figura 6.1 L’ortomosaico ottenuto da Metashape []	49
Figura 6.2 QGIS – Import dell’ortofoto ottenuta da Metashape, scala 1:25000	50
Figura 6.3 Cloud Compare - dense point cloud segmentation	51
Figura 6.4 Cloud Compare - Dense point cloud cross section	51
Figura 6.5 Metashape – Filter by point spacing	52
Figura 6.6 Metashape – Filter by classes	52
Figura 6.7 Metashape - Classify Ground Points parameters	55

Figura 6.8 Metashape – Only Ground Points classification.....	55
Figura 6.9 Metashape - Le caratteristiche del processo di classificazione....	55
Figura 6.10 Metashape - Only Ground Points classification, dettaglio	56
Figura 6.11 a) Metashape - Classify Points; b) il risultato del processo di classificazione	56
Figura 6.12 Metashape - Classify Points – vista d’insieme	57
Figura 6.13 Metashape - Classify Points.....	57
Figura 6.14 Metashape – Classify Points, focus sul comune	58
Figura 6.15 Metashape - Punti classificati come vegetazione	58
Figura 6.16 Metashape - Punti classificati come strade.....	59
Figura 6.17 ENVI LiDAR - project properties outputs, prima classificazione	61
Figura 6.18 ENVI LiDAR - project parameters production parameters, prima classificazione	61
Figura 6.19 ENVI LiDAR - Classify Points, project parameters – area definition	62
Figura 6.20 ENVI LiDAR - risultato della prima classificazione.....	63
Figura 6.21 ENVI LiDAR - Classify Points prima classificazione, vista del sottopasso	63
Figura 6.22 ENVI LiDAR - risultato della prima classificazione,.....	63
Figura 6.23 ENVI LiDAR - risultato della prima classificazione, dettaglio sul comune	64
Figura 6.24 ENVI LiDAR - risultato della prima classificazione, dettaglio sull’area di attesa G. Ferraris.....	65
Figura 6.25 ENVI LiDAR - risultato della prima classificazione, area di attesa Piazza Possis	65
Figura 6.26 ENVI LiDAR - project parameters production parameters, seconda classificazione	65

Figura 6.27 ENVI LiDAR - Classify Points, buildings and power lines parameters	66
Figura 6.28 ENVI LiDAR - Classify Points seconda classificazione, vista del sottopasso	66
Figura 6.29 ENVI LiDAR - Classify Points seconda classificazione, vista del sottopasso	67
Figura 6.30 ENVI LiDAR - Classify Points, confronto buildings point range a) Auto, b) 1.2.....	67
Figura 6.31 ENVI LiDAR – Il sottopasso. Fonte: Google Earth	68
Figura 6.32 ENVI LiDAR - Classify Points, box model buildings with height	69
Figura 6.33 ENVI LiDAR - Box model buildings with height at bottom roof, dettaglio su parte dell'edificato	69
Figura 6.34 Metashape - Classify Ground Points, classificazione errata nell'area industriale	71
Figura 6.35 Metashape - Classify Points, errore sulla classificazione del Polivalente (a).....	72
Figura 6.36 Metashape - Classify Points, errore sulla classificazione delle strade	73
Figura 6.37 Metashape - Classify Points, errore sulla classificazione del campanile.....	73
Figura 6.38 Metashape - Classify Points, errore sulla.....	74
Figura 6.39 QGIS – Differenze edifici e aggregato urbano	74
Figura 6.40 Metashape - Classify Points, errore sulla classificazione del campanile.....	75
Figura 6.41 QGIS – Le linee elettriche caricate sul QGIS.....	76
Figura 6.42 Cloud Compare – manual classification	77
Figura 6.43 Cloud Compare – manual classification	78

Figura 6.44 Cloud Compare – assegnazione manuale dei punti appartenenti al terreno alla classe denominata industria.....	78
Figura 6.45 DSM. Fonte: https://3dmetrica.it/dtm-dsm-dem/	79
Figura 6.46 Metashape - Build DSM	79
Figura 6.47 Metashape – DSM	80
Figura 6.48 Metashape – caratteristiche del processo di costruzione del DSM	80
Figura 6.49 ENVI LiDAR – DSM	81
Figura 6.50 DTM. Fonte: https://3dmetrica.it/dtm-dsm-dem/	81
Figura 6.51 Metashape - Build DTM.....	82
Figura 6.52 Metashape - Build DTM.....	83
Figura 6.53 Metashape – DTM	83
Figura 6.54 Metashape – Confronto tra il DTM pre (a) e post (b) classificazione manuale.....	84
Figura 6.55 ENVI LiDAR - DTM properties.....	84
Figura 6.56 ENVI LiDAR - DTM.....	85
Figura 6.57 ENVI LiDAR – contour lines from DTM	85
Figura 6.58 ENVI LiDAR - contour lines from DTM, dettaglio	86
Figura 7.1 Mesh – Oblique dense point cloud	87
Figura 7.2 Metashape -Mesh, Nadiral dense point cloud.....	88
Figura 7.3 Build Mesh – Metashape	88
Figura 7.4 Metashape – Modello texturizzato, Nadiral dense point cloud ...	89
Figura 7.5 Metashape – Modello texturizzato, Nadiral dense point cloud ...	89
Figura 7.6 Le proprietà del modello 3D generato	90
Figura 7.7 Metashape – Modello texturizzato vista di insieme, Oblique dense point cloud.....	90
Figura 7.8 Metashape – Modello texturizzato altra vista, Oblique dense point cloud.....	91

Figura 7.9 Metashape – Modello texturizzato vista da Viale 4 Novembre, Oblique dense point cloud,.....	91
Figura 7.10 Metashape – Mesh, Nadiral dense point cloud.....	92
Figura 7.11 Metashape – Texture, Nadiral dense point cloud.....	92
Figura 7.12 Metashape – Mesh, Nadiral dense point cloud.....	93
Figura 7.13 Metashape – Texture, Nadiral dense point cloud.....	93
Figura 7.14 Metashape – Mesh, dettaglio su un edificio.....	94
Figura 7.15 Metashape – Texture, dettaglio su un edificio.....	94
Figura 8.1 Comuni presenti nell'intorno di 10 km dal sito EUREX di Saluggia.	97
Figura 8.2 Suddivisione in Zone, Settori e Corone circolari dell'area di studio. Fonte: Piano di emergenza esterna EUREX-SO.G.I.N. Saluggia (VC).....	98
Figura 8.3 Le captazioni nel comune di Livorno Ferraris. Fonte: Ricerca geografica e alfanumerica di dati inerenti alle captazioni di acqua pubblica nei territori del Comune di Saluggia e limitrofi.....	103
Figura 8.4 Il segnalamento luminoso per la popolazione.....	105
Figura 8.5 Stralcio da Allegato Edifici, scala 1:5000 Fonte SIT Livorno Ferraris.....	107
Figura 8.6 Il sottopasso di via P. Milone. [Elaborazione propria].....	107
Figura 8.7 Il sottopasso di via P. Milone, dettaglio. [Elaborazione propria].....	108
Figura 8.8 Il sottopasso di via P. Milone, dettaglio. [Elaborazione propria].....	108
Figura 8.9 Vista di parte dell'area produttiva dal sottopasso di via Milone	110
Figura 8.10 Stralcio sull'area produttiva. Fonte PRGC Livorno Ferraris, tavola: assetto urbanistico sud.....	110
Figura 8.11 La stazione di Livorno Ferraris.....	112

Figura 8.12: Stralcio dell’Allegato C2 “Aree di emergenza, enti, associazioni, area ammassamento”. Fonte: Allegato C2 del Piano comunale di protezione civile Livorno Ferraris.....	116
Figura 8.13: Stralcio dell’ Allegato C5 frazioni e allevamenti. Fonte: Allegato C5 del Piano comunale di protezione civile Livorno Ferraris	117
Figura 8.14 QGIS – Stralcio Allegato “Popolazione”, Popolazione residente per cella	120
Figura 8.15 QGIS – Stralcio Allegato “Popolazione”, Popolazione residente per strada	121
Figura 8.16 QGIS – Segnalazione delle aree di emergenza. Fonte: https://www.teknoring.com/guide/guide-sicurezza-e-ambiente/piani-emergenza-comunale-protezione-civile/	122
Figura 8.17 Esempio di segnalazione delle aree di attesa. Fonte: https://www.comune.perugia.it/pagine/aree-di-emergenza	122
Figura 8.18 Piazza Possis, accesso all’area. [Elaborazione propria]	124
Figura 8.19 Piazza Possis, altra vista. [Elaborazione propria]	124
Figura 8.20 Piazza Possis, altro accesso all’area. [Elaborazione propria] ..	125
Figura 8.21 Piazza Possis, accesso all’area. [Elaborazione propria]	125
Figura 8.22 Piazza Possis, accesso all’area da Viale IV Novembre. [Elaborazione propria].....	126
Figura 8.23 Area di attesa Piazza Possis, scala 1:1000. [Elaborazione propria]	126
Figura 8.24 QGIS – La misurazione della larghezza minima della strada percorsa dai mezzi operativi.....	127
Figura 8.25 Popolazione per strada prossima all’area di attesa Piazza Possis, scala 1:2000.....	127
Figura 8.26 GisMaster – I servizi tecnologici nell’intorno dell’area di attesa Piazza Possis	128

Figura 8.27 La cabina del metano prossima all'area di attesa Piazza Possis [Elaborazione propria].....	128
Figura 8.28 La cabina elettrica prossima all'area di attesa Piazza Possis (a); le tubazioni (b). [Elaborazione propria]	129
Figura 8.29 L'aspiratore utilizzato nel Palatenda [Elaborazione propria] ..	129
Figura 8.30 Metashape - Modello Texturizzato su Piazza Possis. Nadiral dense point cloud.....	130
Figura 8.31 Metashape - Modello Texturizzato, Area di attesa Piazza Possis vista da Viale 4 Novembre. Nadiral dense point cloud.....	130
Figura 8.32 Metashape - Modello Texturizzato Area di attesa Piazza Possis, vista da Viale 4 Novembre. Nadiral dense point cloud.....	130
Figura 8.33 Analist – La sezione scelta dell'area di attesa Piazza Possis Scala 1:500.....	131
Figura 8.34 Analist – La sezione scelta dell'area di attesa Piazza Possis ...	132
Figura 8.35 Piazza Galileo Ferraris, vista sul museo Galileo Ferraris. [Elaborazione propria].....	133
Figura 8.36 Piazza Galileo Ferraris. [Elaborazione propria].....	134
Figura 8.37 Piazza Galileo Ferraris, l'accesso da Viale 4 Novembre. [Elaborazione propria].....	134
Figura 8.38 QGIS - Area di attesa Galileo Ferraris, scala 1:1000.....	135
Figura 8.39 QGIS - Popolazione per strada prossima all'area di attesa Galileo Ferraris, scala 1:1000	135
Figura 8.40 Analist - Area di attesa Galileo Ferraris, scala 1:500	136
Figura 8.41 QGIS - Area di attesa Galileo Ferraris.....	137
Figura 8.42 GisMaster – I servizi tecnologici nell'intorno	138
Figura 8.43 Mesh Aree di attesa Galileo Ferraris e Piazza Possis, Nadiral dense point cloud.....	138
Figura 8.44 Metashape - Modello Texturizzato Area di emergenza Galileo Ferraris, vista dalle vie di accesso. Oblique dense point cloud.....	139

Figura 8.45 Metashape - Modello Texturizzato Area di emergenza Galileo Ferraris. Oblique dense point cloud Texture	139
Figura 8.46 Metashape - Modello Texturizzato Area di attesa Galileo Ferraris, Oblique dense point cloud,.....	140
Figura 8.47 QGIS – L’area di ammassamento soccorritori – risorse e il campo base dei Vigili del fuoco.....	141
Figura 8.48 GisMaster – I servizi tecnologici nell’intorno dell’area di	143
Figura 8.49 I pali della luce prossimi alle aree di ammassamento.....	144
Figura 8.50 La rete fognaria prossima alle aree di ammassamento	144
Figura 8.51 GisMaster – Le informazioni estraibili dall’acquedotto	145
Figura 8.52 GisMaster – Gli allacci dell’acquedotto	145
Figura 8.53 I pozzi presenti a ridosso dell’area di accoglienza o ricovero. Fonte: Comune di Livorno Ferraris - Relazione idrogeologica, definizione aree salvaguardia dei pozzi acquedottistici.	146
Figura 8.54 Metashape – Modello texturizzato Area di ammassamento soccorritori-risorse e campo base Vigili del fuoco, Nadiral dense point cloud	146
Figura 8.55 Metashape – Modello texturizzato Area di ammassamento soccorritori-risorse e campo base Vigili del fuoco. Nadiral dense point cloud	147
Figura 8.56 L’area prevista per la raccolta del bestiame. [Elaborazione propria].....	149
Figura 8.57 L’area prevista per la raccolta del bestiame, vista del canale. [Elaborazione propria].....	149
Figura 8.58 GisMaster – I servizi prossimi all’area di raccolta del bestiame	150
Figura 8.59 Allaccio all’acqua per l’area prevista a raccolta del bestiame. [Elaborazione propria].....	150

Figura 8.60 Vista del canale e dell'allaccio all'acqua per l'area prevista alla raccolta del bestiame. [Elaborazione propria].....	151
Figura 8.61 QGIS – Rappresentazione dell'area di raccolta del bestiame su base ortofoto, scala 1:1000.....	151
Figura 8.62 Stralcio della tavola P3a Assetto urbanistico sud del PRG.....	152
Figura 8.63 Texture Area di raccolta del bestiame, Nadiral dense point cloud	152
Figura 8.64 Il centro operativo comunale, prospetto principale. [Elaborazione propria].....	153
Figura 8.65 Il centro operativo comunale, prospetto secondario. [Elaborazione propria].....	154
Figura 8.66 Metashape – Modello texturizzato, prospetto principale centro operativo comunale, Oblique dense point cloud	154
Figura 8.67 Metashape – Modello texturizzato, prospetto secondario centro operativo comunale, Oblique dense point cloud	155
Figura 8.68 L'interno del polivalente. Fonte: Comune di Livorno Ferraris	155
Figura 8.69 QGIS – Stralcio Allegato “Popolazione”, Popolazione residente per cella	156
Figura 8.70 Dettaglio dell'Allegato “Servizi e impianti tecnologici”.....	157
Figura 8.71 Dettaglio dell'Allegato “Servizi e impianti tecnologici.....	158
Figura 8.72 Dettaglio dell'Allegato “Fase di emergenza”	159
Figura 8.73 Dettaglio dell'Allegato “Fase di emergenza”	160
Figura 9.1 GisMaster – L'import dell'ortofoto nel SIT comunale.....	162
Figura 9.2 Dettaglio dell'ortofoto a risoluzione 8 cm.....	162
Figura 9.3 GisMaster - Misurazioni sull'ortofoto ad alta risoluzione.....	163
Figura 9.4 GisMaster - Rappresentazione su base catastale delle aree, delle vie di comunicazione e degli edifici impegnati in fase di emergenza.....	163
Figura 9.5 ArcGis - Import degli edifici e degli alberi su mappa stradale .	164
Figura 9.6: ArcGis – Il 3D degli edifici	165

Figura 9.7: QGIS – Differenze DTM e DSM.....	167
Figura 9.8: QGIS – Differenze DTM e DSM, ritagliato rispetto agli edifici, scala 1:20000.....	168
Figura 9.9: QGIS – Il raster “Differenze DSM DTM” ritagliato rispetto agli edifici.....	169
Figura 9.10: QGIS – Statistiche zonali, input layer edifici	170
Figura 9.11: QGIS – Differenze DTM e DSM, ritagliato rispetto agli edifici	170
Figura 10.1 Modello texturizzato , dettaglio su Piazza Galileo Ferraris.....	173
Figura 10.2 Metashape - Modello texturizzato , dettaglio sul sottopasso...	174
Figura 10.3 Metashape - Modello texturizzato , dettaglio sul sottopasso...	175
Figura 10.4 ENVI LiDAR, dettaglio sul sottopasso.....	175
Figura 10.5 ENVI LiDAR, sezione trasversale del sottopasso	176
Figura 10.6 ENVI LiDAR, sezione longitudinale del sottopasso	176
Figura 11.1 Metashape – Il numero di piani, i garage, i balconi e i cortili interni delle abitazioni facilmente individuabili nel modello 3D	180
Figura 11.2 Metashape – Il numero di piani, i garage, i balconi e i cortili interni delle abitazioni facilmente individuabili nel modello 3D	181
Figura 11.3 ArcGis Pro - Le coperture delle abitazioni	187
Figura 11.4 ArcGis Pro - Le caratteristiche della copertura, l’attributo “differenza” rappresenta la differenza di quota tra colmo e gronda.	188
Figura 11.5 QGIS – Il numero di piani degli edifici	189
Figura 11.6 ArcGis Pro – Verifica dell’indirizzo del singolo edificio interrogandone il 3D.....	189
Figura 11.7 ArcGis Pro – Gli idranti e la rete acquedottistica riportati nel 3D	190
Figura 11.8 ArcGis Pro – Gli idranti verificati dai Vigili del fuoco	190
Figura 11.9 ArcGis Pro – Le informazioni degli alberi a disposizione dei Vigili del fuoco	192

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Dati immagini volo aereo	40
Tabella 2: Hardware e software della workstation impiegata	43
Tabella 3: Le specifiche dell'ortomosaico ottenuto da Metashape	49
Tabella 4: Superfici delle aree di attesa.....	123
Tabella 5: I centri di assistenza	148

*A nonno Ciccio,
per le emozioni vissute insieme, la tua gioia
contagiosa e l'esempio di come amare e vivere la
vita, ogni attimo. Sei stato più di un nonno per me.*

*A nonno Tonino,
per la tua saggezza e genuina bontà, per il tuo
affetto e la felicità che traspariva e trasmettevi
dagli occhi quando stavo con te.*

*Grazie di tutto, il vostro ricordo mi strapperà
sempre un sorriso.*

Ringraziamenti

Innanzitutto, un sentito ringraziamento al Prof. Boccardo, per avermi guidato e supportato nella fase più importante del mio percorso accademico, dandomi la possibilità di approfondire una tematica molto interessante.

Nella stesura del lavoro di tesi è stato fondamentale il supporto del comune di Livorno Ferraris, specialmente del responsabile dell'ufficio tecnico, e dei tecnici e dei dottorandi del laboratorio SDG11.

Grazie di cuore ai miei genitori, per avermi sempre sostenuto durante il mio percorso universitario, non avrei raggiunto questo traguardo senza di voi. Vi ringrazio per tutti i sacrifici fatti, per l'amore quotidianamente dimostrato e per avermi sempre compreso.

Un ringraziamento speciale alla mia fidanzata Marika, perché più di tutti è riuscita a capirmi, aiutarmi e supportarmi, specialmente nei momenti difficili. Grazie per tutto l'amore e le attenzioni che mi dai, sono fortunato ad averti accanto.

Grazie a mia sorella Dora per la quotidianità vissuta insieme e per avermi fatto soffrire meno la distanza da casa.

Grazie a tutta la mia famiglia, specialmente alle mie nonne per la dolcezza dei vostri gesti e il profondo affetto che mi donate.

Per raggiungere questo traguardo è stato necessario trovare il giusto equilibrio tra studio e divertimento, per questo voglio ringraziare tutti gli amici che ho conosciuto a Torino e con cui ho trascorso bellissime e indimenticabili serate.

Infine, grazie agli amici di una vita su cui posso sempre contare e a tutte le persone che mi sono state vicine in questo percorso.

Abstract

Nel corso degli ultimi anni, i consistenti avanzamenti relativi alle piattaforme HW e SW e la disponibilità di sensori di osservazione della terra, con caratteristiche di risoluzione geometrica e spettrale capaci di acquisire dati sempre più precisi e accurati, hanno permesso di potere approcciare problemi e tematiche legate al territorio precedentemente inesplorate.

In questo lavoro di tesi si sottolinea l'importanza della costruzione di un modello 3D e dell'impiego di una nuvola di punti nella gestione di un sistema territoriale informativo e in materia di protezione civile. Dall'elaborazione dei dati sono stati ottenuti prodotti utili per lo studio di alcune applicazioni pratiche che riguardano il comune di Livorno Ferraris.

La prima fase del lavoro consiste nell'elaborazione della nuvola di punti, che è stata classificata in maniera automatica utilizzando diversi software. Segue la creazione del DTM, del DSM, del modello tridimensionale e degli altri outputs. I risultati, ottenuti con differenti parametri in ingresso, sono stati confrontati per comprendere la validità e l'applicabilità degli stessi.

Nella seconda parte dell'elaborato sono state svolte delle applicazioni pratiche utilizzando i prodotti derivanti dall'elaborazione dei dati ad alta risoluzione.

La disponibilità del modello tridimensionale e dell'ortofoto ad alta risoluzione consente infatti, anche durante un'emergenza, di ottenere informazioni rilevanti per attuare scelte consapevoli, efficaci ed efficienti.

Inoltre, nel modello tridimensionale è possibile simulare gli effetti dello scaricarsi di una cella temporalesca sul territorio, individuando le criticità locali.

La possibilità di estrarre elementi cartografici dalla nuvola di punti classificata, ad esempio edificato, vegetazione e viabilità, consente l'integrazione del sistema informativo territoriale e il supporto alle attività svolte dall'ufficio tecnico.



L'impiego dei dati ad alta risoluzione è rilevante anche nelle attività svolte dai vigili del fuoco.

Abstract (English version)

Over the last few years, significant advancements in HW and SW platforms and the availability of earth observation sensors, with geometric and spectral resolution characteristics capable of acquiring increasingly precise and accurate data, enable approaches to previously unexplored problems and issues related to territory.

This thesis emphasizes the importance of the construction of a 3D model and the use of a point cloud in the management of a geographic information system and civil protection. Useful products have been obtained from the processing of the data for the study of some practical applications that concern the municipality of Livorno Ferraris.

The first phase of the work consists in the processing of the point cloud, which has been automatically classified using different software. The creation of the DTM, DSM, 3D model and other outputs follows. The results obtained with different input parameters were compared to understand their validity and applicability.

In the second part of the work, practical applications were carried out using products derived from high resolution data processing.

The availability of the three-dimensional model and the high-resolution orthophoto allows, even during an emergency, to obtain relevant information to implement conscious, effective and efficient choices.

Moreover, it is possible to simulate in the three-dimensional model the effects of the discharge of a temporal cell on the territory, identifying the local criticalities.

The possibility of extracting cartographic elements from the classified point cloud, such as buildings, vegetation and roads, allows the integration of the territorial information system and the support to the activities carried out by the technical office.

The use of high-resolution data is also relevant in fire department's activities.

Nomenclature

DEM	Digital Elevation Model – modello digitale di elevazione
Dense Cloud	Nuvola densa di punti
DSM	Digital Surface Model – modello digitale di superficie
DTM	Digital Terrain Model – modello digitale del terreno
GIS	Geographic Information System – Sistema informativo territoriale
Hw	Hardware
LAS	Formato file per l'archiviazione dati di una nuvola punti LIDAR
LIDAR	Laser Imaging Detection and Ranging – tecnica di telerilevamento laser
SfM	Structure from Motion – Algoritmo di struttura dal movimento
SW	Software
GSD	Ground Sample Distance - Risoluzione geometrica del pixel

1. Introduzione

Analizzare il territorio è un'azione indispensabile per potere operare delle scelte e allo stesso tempo definire degli scenari credibili e oggettivi.

La gestione delle informazioni e dei dati territoriali avviene oggi secondo dei modelli che prevedono la stretta integrazione fra gli elementi cartografici del territorio in esame e le informazioni alfanumeriche contenute nei database. Essendo gli strumenti informatici in grado di gestire moli di dati, è possibile analizzare gli oggetti reali attraverso modelli informatizzati e virtuali più o meno complessi, che rappresentano fedelmente la realtà.

Lo scopo di questo lavoro di tesi è comprendere il supporto che può essere fornito dall'impiego di un dataset ad alta risoluzione nelle analisi territoriali e nella pianificazione delle emergenze, causate da rischi naturali e antropici. Nello specifico, si definiscono alcune proposte di aggiornamento al SIT e al Piano di Protezione Civile Comunale.

Il caso studio è il comune di Livorno Ferraris (VC), in cui sono state acquisite un insieme di immagini aeree ottiche e una nuvola di punti LiDAR.

I dati sono stati processati, generando un modello 3D e altri prodotti, per aggiornare il sistema informativo territoriale comunale e il piano di protezione civile e per fornire supporto alle attività di pianificazione dell'emergenza comunali e intercomunali, ricoprendo Livorno Ferraris un ruolo strategico nell'intera zona del vercellese occidentale ai confini con le province di Torino e Alessandria.

L'elaborazione dei dati è stata effettuata utilizzando dei software di Structure from Motion (SfM), ossia Agisoft © Metashape, ESRI™ ArcGIS Pro, CloudCompare v2.13, che vengono impiegati per la gestione di dataset consistenti di immagini

acquisite da volo aereo o da drone e per la realizzazione di modelli 3D ad alta risoluzione quali: DSM, DTM, modelli tridimensionali texturizzati e mesh.

Nella prima parte dell'elaborato di tesi si descrive il dataset utilizzato, specificando i presupposti teorico/applicativi e riportando le operazioni di processing del dato, ovvero l'algoritmo di classificazione della nuvola di punti opportunamente calibrato e validato, la costruzione del DTM e del DSM e la generazione delle curve di livello.

La generazione del modello 3D avviene a partire dalla nuvola di punti, costruendo la mesh e applicando un contenuto in colore (texture).

La seconda parte dell'elaborato di tesi si sofferma sulle applicazioni pratiche.

Con il supporto delle elaborazioni dei dati ad alta risoluzione, è possibile aggiornare il piano di protezione civile facendo analisi più dettagliate che facilitino la definizione delle aree di emergenza.

Inoltre, dalla nuvola di punti classificata è possibile estrarre degli attributi, che vengono implementati nel SIT comunale e che trovano utilità nelle attività dei vigili del fuoco.

Considerata la tendenza sempre più marcata al manifestarsi di eventi di pioggia intensi e concentrati, è utile poter riprodurre nel modello tridimensionale gli effetti sul territorio.

I dati ad alta risoluzione hanno applicabilità anche nelle attività dei vigili del fuoco in fase di pianificazione ed emergenza, specialmente nel campo della prevenzione incendi, supporto a persone con disabilità, interventi in caso di rischio meteorologico, gestione e manutenzione della vegetazione.

I risultati ottenuti dipendono dal dataset a disposizione, ma le elaborazioni effettuate e i criteri metodologici adottati hanno validità anche in altri contesti.

Analogamente, le problematiche riscontrabili nell'elaborazione di altre nuvole di punti potrebbero variare rispetto a quelle ravvisate su Livorno Ferraris, essendo molteplici le variabili e le fonti di possibile disturbo nell'elaborazione dei dati.

Gli ultimi capitoli si soffermano sui risultati conseguiti, traendo le conclusioni e gli sviluppi futuri.

2. Structure from Motion

La fotogrammetria moderna si avvale di software basati su algoritmi di Structure from Motion (SfM) [1], che nascono dalla fotogrammetria tradizionale e si sono evoluti grazie all'implementazione degli algoritmi della Computer Vision.

Gli algoritmi tipici della visione robotica permettono di analizzare e correlare immagini digitali in modo veloce ed automatico e si affiancano ai principi teorici di collinearità, intersezione di raggi proiettivi e calibrazione della fotocamera.

Lo scopo è ricostruire la forma reale degli oggetti attraverso la collimazione automatica di punti omologhi da un insieme di foto, sfruttando degli algoritmi di features detection.

Questi identificano in modo automatico migliaia di punti notevoli per ogni immagine e li confrontano con quelli delle altre immagini, creando un legame tra i fotogrammi attraverso i punti omologhi.

Determinati i punti di legame, i software possono impostare e risolvere le equazioni di collinearità fornendo una serie di output:

- posizione e orientamento delle fotocamere;
- parametri di calibrazione e distorsione della fotocamera;
- nuvola di punti sparsa: le coordinate 3D dei punti di legame con l'aggiunta del valore medio del colore del pixel corrispondente.

Questi prodotti rappresentano la base di partenza per una nuova serie di processi.

Sfruttando algoritmi di Image Matching, si cercano le "corrispondenze pixel to pixel" all'interno di una coppia di immagini, generando le cosiddette mappe di profondità e una nuvola di punti densa.

La nuvola di punti con il colore originario viene successivamente infittita e i punti uniti con una rete di triangoli, per formare una superficie detta TIN, ovvero "Triangulated Irregular Network".

La costruzione del modello tridimensionale si ottiene sovrapponendo una texture fotografica, estratta dalle foto di partenza [2].

I software di Structure from Motion (SfM) impiegati in questa tesi sono Metashape, ArcGIS Pro, ENVI LiDAR e Cloud Compare.

La metodologia operativa seguita e le fasi di validazione e calibrazione del modello vengono descritte nei capitoli seguenti.

3. Caso studio: Livorno Ferraris

3.1 Il comune nel contesto territoriale

Livorno Ferraris (Figura 3.1) è un comune piemontese di 4180 abitanti al 1° gennaio 2022, posizionato a 428231.88 m Est 5014654.95 m Nord Zona 32N in base al sistema di riferimento UTM (WGS84) [3]. Il comune si estende su una vasta area con una superficie di 58,03 km² e una densità di 72,03 abitanti/km², che lo rendono uno dei territori più ampi nella provincia di Vercelli (Figura 3.2). Il territorio comunale assume quote variabili da un valore minimo di circa 149 m s.l.m. ad un valore massimo di circa 211 m s.l.m [4].



Figura 3.1 QGIS - La posizione di Livorno Ferraris nella regione Piemonte [5], [6]

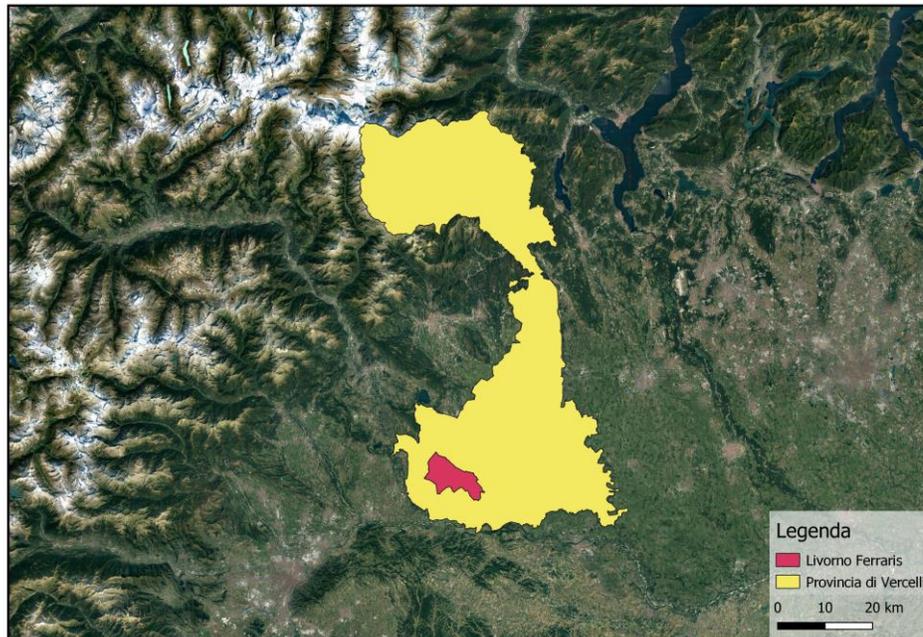


Figura 3.2 QGIS - La posizione di Livorno Ferraris provincia di Vercelli [7]

3.2 Il SIT comunale

Il Sistema Informativo Territoriale (SIT) è uno strumento potente ed efficace di organizzazione e gestione di dati georeferiti, che trova applicazione in svariati ambiti e che permette di associare dati di varia natura (socioeconomici, ambientali, statistici, catastali, reti tecnologiche) alle basi geografiche di riferimento (cartografie, immagini satellitari, ortofoto aeree ecc.) [8].

Gli Enti Locali gestiscono le informazioni cartografiche in maniera integrata con i Piani, come mezzo di supporto alle decisioni, definiscono la manutenzione stradale e della vegetazione e pianificano i soccorsi in caso di emergenza nel SIT.

Le componenti di informazione che vengono raccolte in un SIT sono spaziali, tematiche e temporali, mentre le rappresentazioni in formato digitale possono essere effettuate tramite modelli vettoriali e raster. La disponibilità delle informazioni è già di per sé un notevole supporto alla definizione delle scelte, ma le potenzialità maggiori

sono legate alla possibilità di visualizzarle a diversi livelli di dettaglio, generando soluzioni e analizzando i vantaggi forniti dalle stesse [9].

Il comune utilizza come SIT il software GisMaster (Figura 3.3) della Technical Design [10].

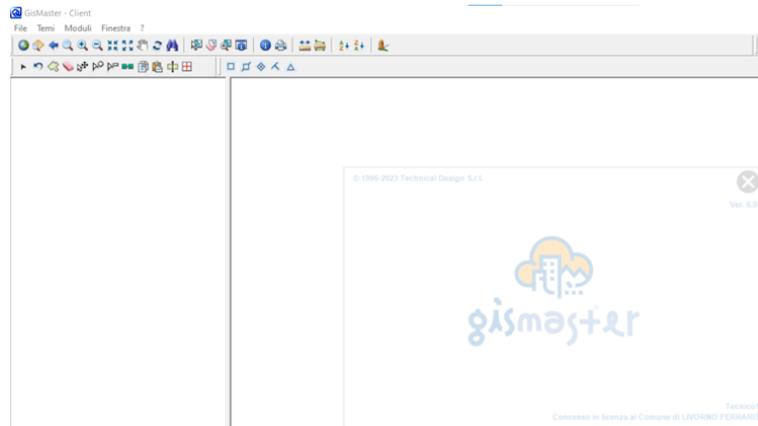


Figura 3.3 GisMaster – L'interfaccia grafica. Fonte: SIT Livorno Ferraris

In questo software sono caricate le tavole e gli allegati del PRGC [11] (Figura 3.4 e Figura 3.5), ma è possibile anche l'import di layer esterni (ESRI shapefile, *.tif, *.wms ecc.) con i relativi attributi ed effettuare delle misure lineari e areali (Figura 3.6).

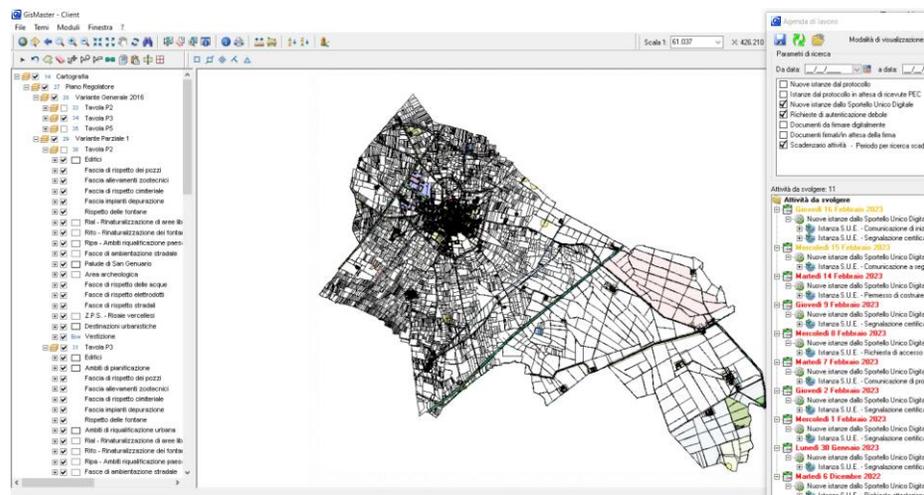


Figura 3.4 GisMaster - Il piano regolatore generale nel SIT. Fonte: SIT Livorno Ferraris

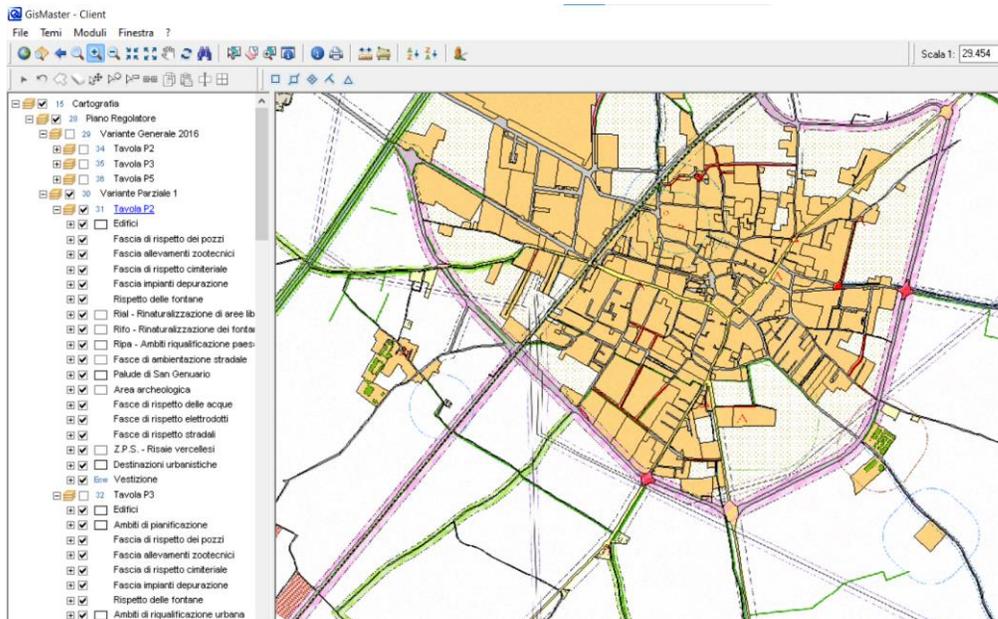


Figura 3.5 GisMaster – La tavola P2 “Assetto urbanistico generale” caricata sul SIT comunale. Fonte: SIT Livorno Ferraris

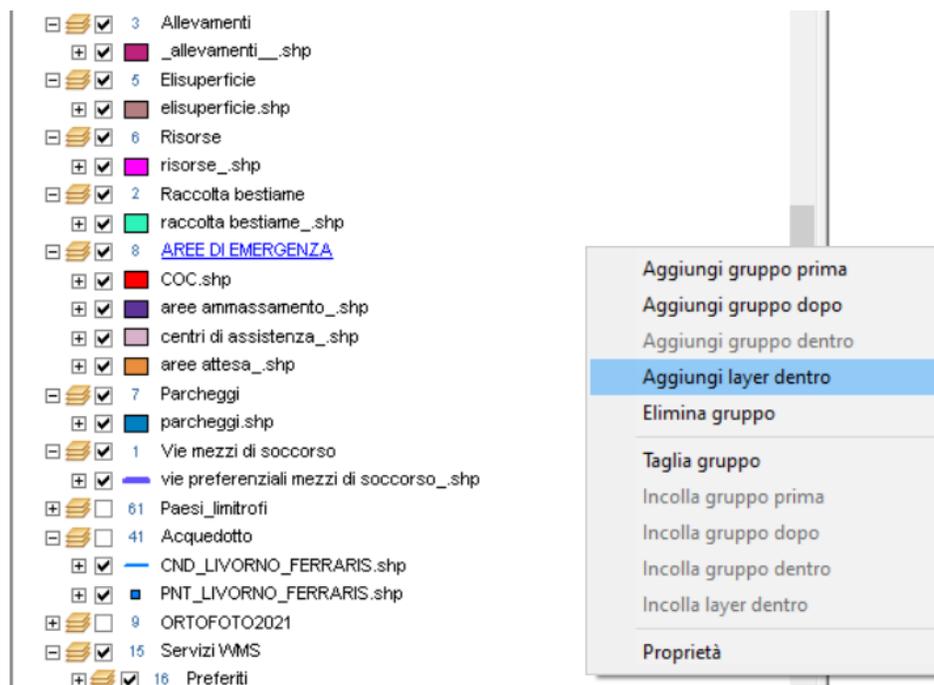


Figura 3.6 GisMaster – Il caricamento dei layer sul SIT comunale. Fonte: SIT Livorno Ferraris

Il SIT viene principalmente impiegato per gestire e istruire le pratiche edilizie, per l'estrazione dalle tabelle attributi delle informazioni riguardanti i singoli elementi ed è organizzato per moduli. Si riportano quelli del Catasto in Figura 3.7 e del Piano regolatore in Figura 3.8, con indicazione delle operazioni effettuabili dal comune.

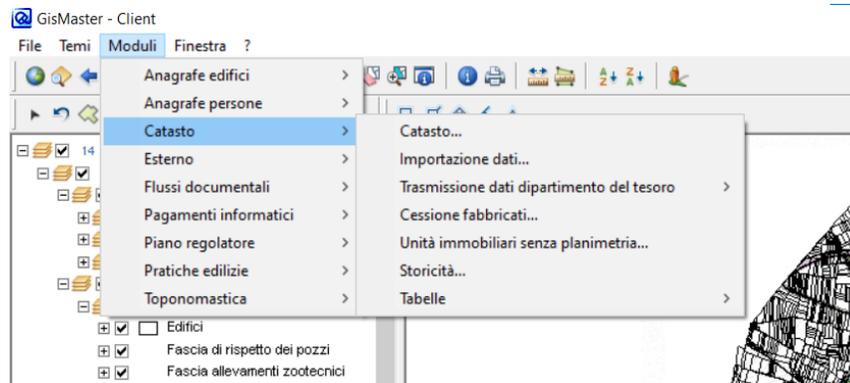


Figura 3.7 GisMaster – Il modulo del catasto sul SIT comunale. Fonte: SIT Livorno Ferraris

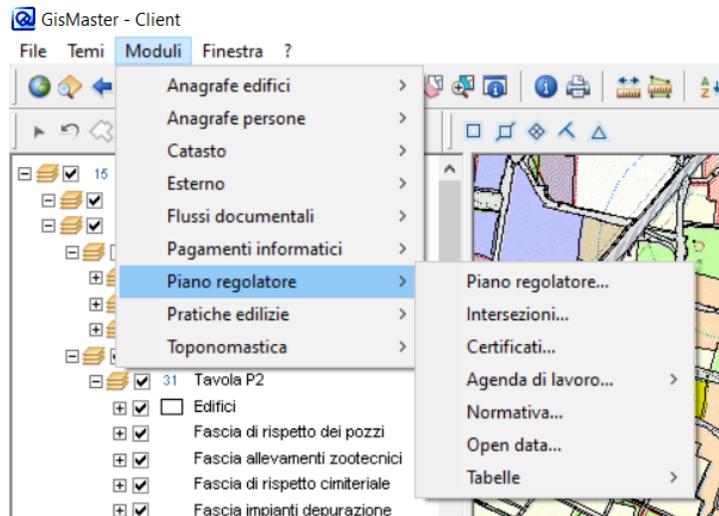


Figura 3.8 GisMaster – Il modulo Piano regolatore. Fonte: SIT Livorno Ferraris

3.3 Il piano comunale di protezione civile

L'attività di protezione civile in prevenzione e in emergenza viene organizzata con i Piani Comunali che, essendo degli strumenti di supporto alle decisioni, consentono di programmare le più adeguate politiche di mitigazione del rischio, dello sviluppo e della gestione del territorio [12].

3.1.1 *Il piano vigente a Livorno Ferraris*

Il piano di protezione civile comunale attualmente vigente a Livorno Ferraris risale al 2005 [13] ed è composto da una relazione e da 17 allegati. La relazione comprende:

- una parte generale che riporta informazioni e caratteristiche generali del territorio, la situazione idrografica, i principali rischi sul territorio, la viabilità principale, l'identificazione dei residenti con le eventuali patologie, i dati delle realtà produttive, degli uffici pubblici e delle scuole e le cartografie tematiche del territorio;
- le linee di pianificazione, nelle quali vengono individuate le risorse tecniche, umane e ricettive utili per superare l'emergenza;
- il modello di intervento, nel quale si specificano le azioni da intraprendere per ogni tipo di rischio ipotizzato, la composizione del Centro Operativo Comunale e la suddivisione delle responsabilità all'interno dello stesso.

Il comune di Livorno Ferraris svolge un ruolo nevralgico nel circondario anche in situazione di emergenza, disponendo di una stazione dei Carabinieri, del distaccamento del Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco, della ferrovia e di attività e servizi prontamente attivabili.

4. Dataset

Il dataset di immagini è stato acquisito il 17 marzo 2021 sul comune di Livorno Ferraris (VC), mediante volo aereo effettuato dalla ditta DigiSky, che è una società certificata EASA, avente sede presso l'aeroporto di Torino Aeritalia Digisky, in possesso di una propria flotta e che offre ai clienti servizi di ingegneria aeronautica all'avanguardia, inclusi test in volo di sistemi, tecnologie e sensori aviarci [14].

4.1 Immagini aeree ottiche nadirali e oblique

Per l'acquisizione delle immagini aeree ottiche è stato impiegato un sistema aereo integrato, costituito da una fotocamera PhaseOne © iXM-RS150F equipaggiata con una Lente Rodenstock © da 50mm (Figura 4.1). Al fine di garantire un ricoprimento longitudinale del 90% sono state acquisite ulteriori 277 immagini oblique con angoli di presa di circa 35° [15].



Figura 4.1 Sistema aereo integrato PhaseOne (a); Camera PhaseOne iXM-RS150F (b); Lente Rodenstock RS-50mm (c) – © Copyright 2020 Phase One A/S. Fonte: <https://geospatial.phaseone.com/cameras/ixm-rs150f/>

I dati tecnici della campagna di acquisizione aerea sono indicati in Tabella 1.

Tabella 1: Dati immagini volo aereo

Numero di immagini	563
Ricoprimento longitudinale	> 90%
Risoluzione al suolo	4.04 cm/pix
Altitudine di volo	598 m
Area di copertura	9.66 km ²
Stazioni di ripresa	563

4.2 Acquisizione laser scanning (LiDAR)

Il dataset di riferimento è stato integrato con un'acquisizione da terra con tecnologia laser scanning.

LiDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) è una tecnica di telerilevamento attiva per l'esecuzione di rilievi topografici ad alta risoluzione. Il sistema, caratterizzato da un'altissima velocità di acquisizione dei dati e un'elevata risoluzione, è composto da [16]:

- un trasmettitore, essenzialmente un laser;
- un ricevitore costituito da un telescopio;
- un sistema di acquisizione dati.

Il risultato proveniente dall'acquisizione è una nuvola di punti (point cloud), che rappresenta un file con l'informazione della posizione nello spazio di punti rappresentativi del rilievo effettuato [17].

Lo strumento adoperato in questa campagna di rilievo, effettuata l'8 ottobre 2021, è il KAARTA ® Stencil 2, dotato di LiDAR Velodyne LiDAR ® Puck e avente un raggio di ricoprimento fino a 100 metri. A questo dispositivo, che consente una stima in tempo reale della nuvola di punti abbinata ad una mappatura 3D integrata, è stato affiancato un ricevitore multibanda RTK/GNSS con precisione centimetrica Emlid Reach RS2, per aumentare l'accuratezza spaziale del dato acquisito. Entrambi i dispositivi sono stati trasportati a spalle, fissandoli ad un supporto mobile. Conclusa la sessione di acquisizione, la nuvola di punti LiDAR è stata elaborata utilizzando il dispositivo Stencil, che è dotato di un software nativo Kaarta ® Engine [18].

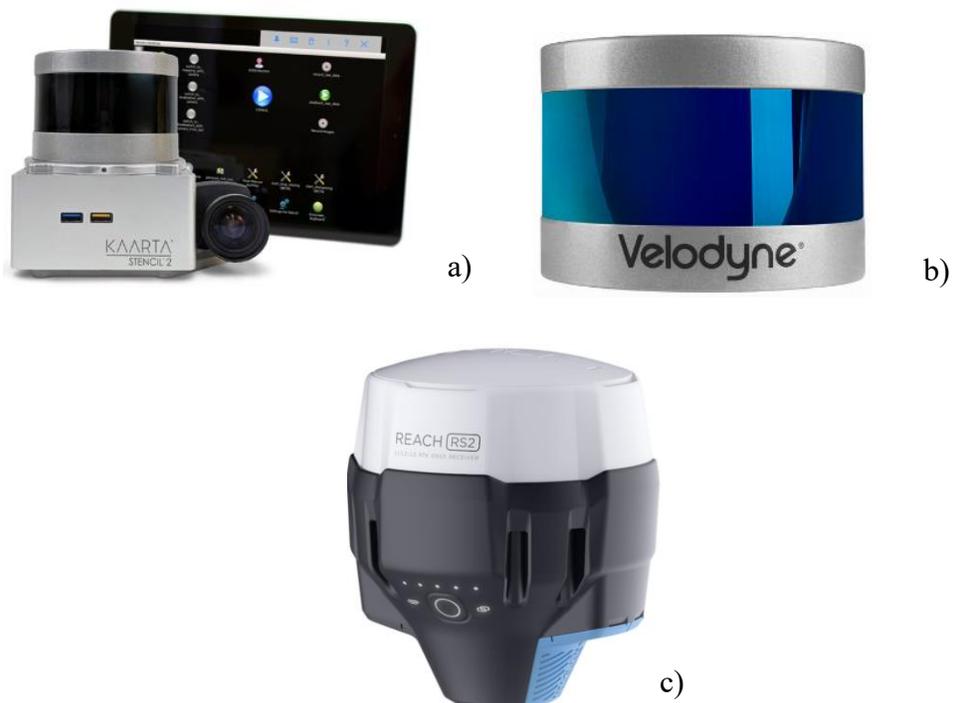


Figura 4.2 (a) Dotazione per il rilievo laser scanning [19]; (b) LIDAR Velodyne Puck LITE [20]; (c) Ricevitore GPS EMLID Reach RS2 [21].

La nuvola di punti laser contiene al suo interno informazioni geografiche su tutti gli elementi riflettenti presenti.

Dato che il laser acquisisce la posizione di molti impulsi, si procede a classificare il volume di dati ottenendo come risultato l'attribuzione di uno specifico significato fisico ad ogni singolo punto. Si distinguono pertanto gli impulsi che appartengono al suolo da quelli classificabili come elementi antropici (quali cavi elettrici, ponti, edifici, automobili, ecc.) o superfici arboree e arbustive [22].

5 Workstation

Il lavoro di tesi è stato svolto utilizzando i dati ad alta risoluzione acquisiti nel comune di Livorno Ferraris e quelli provenienti dal software GisMaster dell'ufficio tecnico.

L'elaborazione dei dati acquisiti è stata svolta prevalentemente presso il laboratorio SDG11LAB del Politecnico di Torino, la workstation utilizzata possiede le caratteristiche riportate in Tabella 2.

Tabella 2: Hardware e software della workstation impiegata

Informazioni	Workstation
Dispositivo	SDG11-PC4
Processore	Intel(R) Core (TM) i9-10900X CPU @ 3.70GHz
Scheda grafica	NVIDIA Quadro RTX 5000
RAM installata	64.0GB (63.7 GB utilizzabile)
Tipo sistema	Sistema operativo a 64 bit, processore basato su x64
Edizione	Windows 10 Enterprise
Versione	21H1

Software installati	ESRI © ArcGIS Pro, versione 3.0.36057 QGIS 3.22.11 'Bialowieza' CloudCompareStereo versione 2.13.alpha [Windows 64-bit] Agisoft© Metashape, versione 1.7.5 build (64 bit) ENVI LiDAR 5.6.1 ArcGis Pro ESRI™ ArcMap Analist Group, Analist 2023 ver. 24.2.53.0
----------------------------	--

5.1 Software

Questo lavoro di tesi ha richiesto, per lo svolgimento delle attività, l'impiego dei seguenti software: QGIS 3.22.11 "Bialowieza", CloudCompareStereo ver. 2.13.alpha, Agisoft © Metashape, Google © Earth Pro, ENVI LiDAR 5.6.1, Gis Master ver. 6.97, ArcGis Pro 3.0.36057.

5.1.1 QGIS

QGIS [23] è un sistema di informazione geografica open source che può essere utilizzato per visualizzare, modificare e analizzare i dati geospaziali. In questa tesi è stato utilizzato per redigere gli elaborati a sostegno dello scopi prefissati.

5.1.2 Cloud Compare

Cloud Compare [24] è un software gratuito (Licenza GNU) per piattaforma Windows, IOS e Linux, che processa nuvole di punti e mesh triangolari. In questo lavoro di tesi il software è stato utilizzato per segmentare la nuvola di punti in elementi di dimensione minore, al fine di semplificare le elaborazioni. Inoltre viene utilizzato per traslare e assegnare colore a porzioni di nuvola di punti e per la classificazione manuale della nuvola di punti.

5.1.3 Agisoft Metashape

Agisoft Metashape [25] è il software presente sul mercato più completo e facile da utilizzare nell'elaborare le nuvole di punti. In questo lavoro di tesi è stato impiegato per classificare la nuvola di punti, estrarre il DSM e il DTM, generare il modello 3D e svolgere le applicazioni pratiche.

5.1.4 ENVI LiDAR

ENVI LiDAR [26] è un potente software geospaziale per l'elaborazione e l'analisi di tutti i tipi di immagini e dati come il multispettrale, l'iperspettrale, LiDAR, e SAR. Tramite questo software è possibile inoltre produrre l'ortofoto, il terrain TIN, il DSM, il DTM, le curve di livello ed estrarre i poligoni degli edifici, degli alberi e delle linee elettriche.

5.1.5 GisMaster

GisMaster [27] è un potente software geospaziale di elaborazione e analisi, costantemente aggiornato con le tecnologie più recenti e costituito da un insieme di moduli software completamente integrati fra loro. Tutti i moduli software di GisMaster condividono un database unico contenente un insieme di dati alfanumerici, cartografici e documenti ben organizzati e controllati.

Questo software ha la peculiarità di gestire la storicità dei dati più importanti, sia alfanumerici che cartografici utilizzando i più diffusi database open source e proprietari. Inoltre, può:

- integrarsi con la suite Microsoft Office;
- supportare nativamente i documenti in formato ODF (Open Document Format);
- interfacciarsi anche con suite open source quali Libre Office ed Open Office.

GisMaster, essendo compatibile con le tecnologie ESRI, permette di realizzare un Sistema Informativo Territoriale scalabile e adattabile alle esigenze dell'utente. Inoltre, consente di utilizzare i più diffusi formati e geodatabase (ESRI ArcSDE Technology, Oracle Spatial, ecc).

La costruzione di un sistema informativo integrato è resa possibile dai Web Service di GisMaster, che permettono al sistema software di comunicare con le applicazioni gestionali presenti nell'Ente, quali protocollo informatico, gestione documentale, demografici, tributi ecc.

5.1.5 ArcGis Pro

ArcGIS Pro è un software ricco di funzionalità, sviluppato con miglioramenti e idee dalla community di utenti, che consente di visualizzare e analizzare i dati in 2D, 3D e 4D.

Questo software supporta la condivisione dei dati su una suite di prodotti ArcGIS come ArcGIS Online e ArcGIS Enterprise, rendendo possibile agli utenti di lavorare nel sistema ArcGIS tramite GIS per Web [28].

In questo lavoro di tesi, ArcGis Pro è stato utilizzato per redigere gli elaborati e per la costruzione del modello 3D vettoriale, a partire dagli shape file ottenuti con le classificazioni e opportunamente elaborati.

6. Metodologia operativa

Il processamento delle immagini è stato effettuato su diversi software per ottenere una comparazione analitica (benchmark) al fine di generare gli output.

I confronti sono stati effettuati tenendo conto delle prestazioni dei software stessi e della qualità dei prodotti finali.

Per la generazione del modello 3D di Livorno Ferraris è stato necessario eseguire dei rilievi in loco, con annessa progettazione ed esecuzione degli appoggi in campo, redigere le schede monografiche e compilarle. In questa fase si è dunque individuato un certo numero di punti di appoggio (GCP – Ground Control Points) ed altrettanti punti di verifica (CP - Check-Points) tramite software GIS (ESRI TM ArcMap), ricavandoli da un'ortofoto di Livorno Ferraris avente una GSD di 10 cm.

In seguito, si procede alla validazione del dataset di immagini aeree acquisendo punti RTK (Real-time kinematic positioning) geo-referenziati tramite rete GNSS (Sistema Satellitare di Navigazione Globale).

Le immagini vengono processate attraverso i software di Structure from Motion (SfM) impiegando i dati GPS acquisiti precedentemente [29]. Segue la fase di post-processing, la creazione degli output specifici e il benchmarking dei software utilizzati.

6.1 Elaborazione delle immagini

I software di elaborazione delle immagini basati su algoritmi di SfM sono in grado di generare dei modelli 3D nelle aeree acquisite dai rilievi aerei georeferenziati. La procedura standard, applicata anche in questo caso studio [30] è composta da:

- Caricamento del dataset di immagini.

- Allineamento delle immagini, in cui il software calcola sia l'orientamento interno che quello esterno dei fotogrammi in funzione del sistema di riferimento del progetto.
- Fase di ottimizzazione delle immagini e calibrazione della fotocamera.
- Collimazione dei punti di appoggio, in cui si utilizzano i punti d'appoggio collezionati durante l'acquisizione in campo e si effettua il matching visivo per ognuno dei punti noti.
- Creazione della nuvola densa di punti, attraverso un approccio definito come image matching che consente agli algoritmi di Structure from Motion di ricercare corrispondenze pixel-to-pixel all'interno di una coppia di immagini. Tali corrispondenze, nonché il calcolo delle coordinate 3D, si costruiscono a partire dall'approccio di collinearità che consente di assegnare ad ogni pixel dell'immagine un valore relativo di profondità. Il risultato è la creazione della "dense point cloud", ovvero la nuvola di punti nello spazio oggetto, che costituisce il primo livello grezzo di creazione del modello 3D.

A partire dalla nuvola di punti è possibile generare l'ortofoto. Gli ortomosaici sono stati creati utilizzando differenti software. A prodotti qualitativamente migliori in termini di accuratezza geometrica/altimetrica, corrispondono dei tempi complessivi di elaborazione maggiori. Mediamente, vi è anche una corrispondenza tra qualità del processamento e dimensione del file output generato. Metashape è il software che ha restituito per l'accuratezza geometrica e altimetrica i valori più bassi calcolati in termini di RMSE e MSE: ciò vuol dire che in termini di valori assoluti è il software che meglio calcola le distorsioni spaziali durante il processo di ortorettifica. Tuttavia, la dispersione dei dati geometrici non è gestita in maniera altrettanto performante dal software.

Facendo un'analisi preliminare costi/benefici e considerando lo scopo di elaborare un modello tridimensionale ad altissima risoluzione, si è deciso di utilizzare i dati prodotti dal software Metashape [31].

L'ortomosaico prodotto da Metashape si riporta in Figura 6.1, con le specifiche indicate in Tabella 4.



Figura 6.1 L'ortomosaico ottenuto da Metashape []

Tabella 3: Le specifiche dell'ortomosaico ottenuto da Metashape

Prodotto	Ortomosaico
Dimensione (pixel)	118630 x 5343
Risoluzione (cm/pix)	3.87
Sistema di coordinate	WGS 84 (EPSG: 4326)
GSD	0.04

L'utilità di un'ortofoto ad altissima risoluzione nella pianificazione urbanistica, territoriale e di protezione civile nel comune si approfondisce in seguito. L'ortofoto, impiegata nelle applicazioni di questa tesi, si importa su QGIS (Figura 6.2).



Figura 6.2 QGIS – Import dell'ortofoto ottenuta da Metashape, scala 1:25000

La nuvola di punti viene classificata impiegando i software Agisoft Metashape, Cloud Compare ed ENVI LiDAR. Segue la fase di estrazione dei DSM e DTM, delle curve di livello e degli altri outputs.

6.2 Import ed operazioni preliminari sulla nuvola densa di punti

La nuvola densa di punti è stata inizialmente importata sul software Cloud Compare. In alcune applicazioni si è proceduto, al fine di ridurre i tempi di processamento, a sezionare la nuvola di punti in porzioni di dimensioni minori. Le funzioni utilizzate sono “ Segmentation ” [32], Figura 6.3, e “ Cross section” [33],

Figura 6.4, che consentono di modificare le dimensioni e la posizione della box section nello spazio.

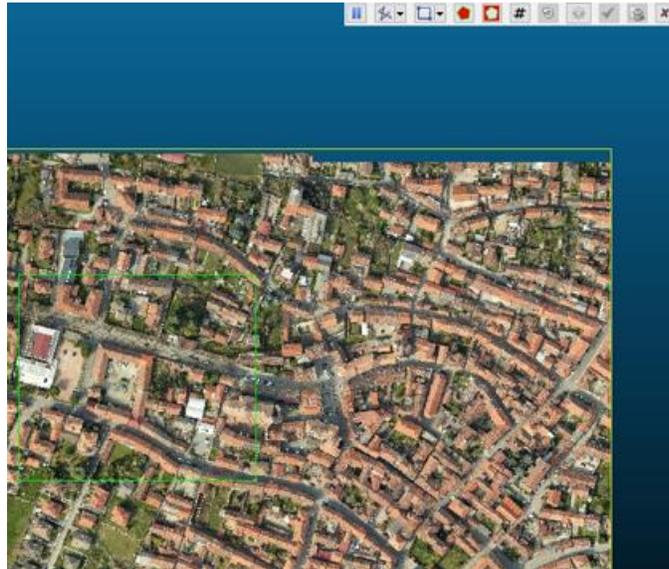


Figura 6.3 Cloud Compare - dense point cloud segmentation

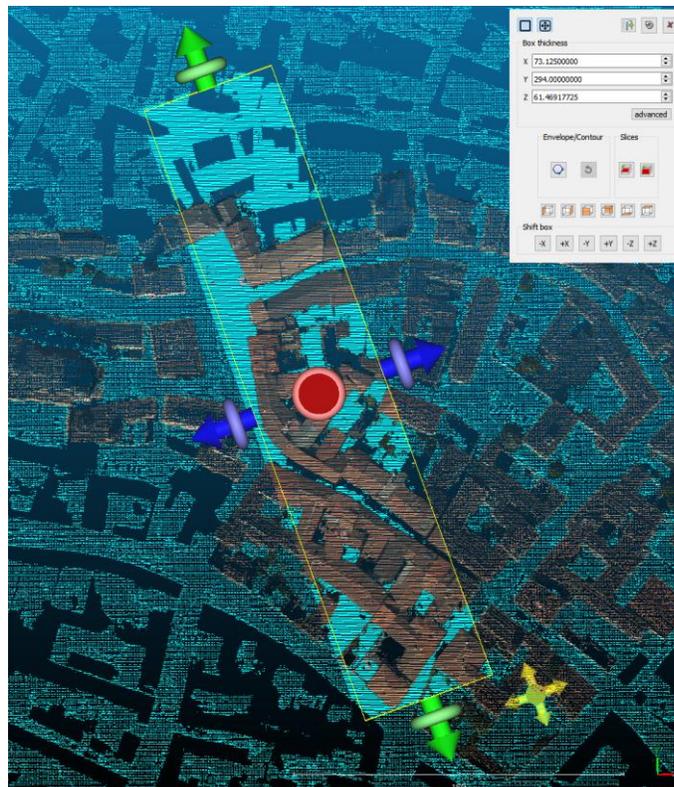


Figura 6.4 Cloud Compare - Dense point cloud cross section

Per ridurre i tempi di processamento di alcune elaborazioni è necessario filtrare la nuvola di punti. Nonostante si ottenga una nuvola con un minore numero di punti, non necessariamente questa operazione conduce ad una diminuzione della qualità dei prodotti finali.

La riduzione del numero dei punti è stata effettuata su Metashape impostando manualmente il passo regolare della griglia dei punti stessi, attraverso il comando filter dense point cloud [34], riportato in Figura 6.7. In alternativa è possibile filtrare la nuvola di punti sulla base delle classi [35], come rappresentato in Figura 6.6.



Figura 6.5 Metashape – Filter by point spacing

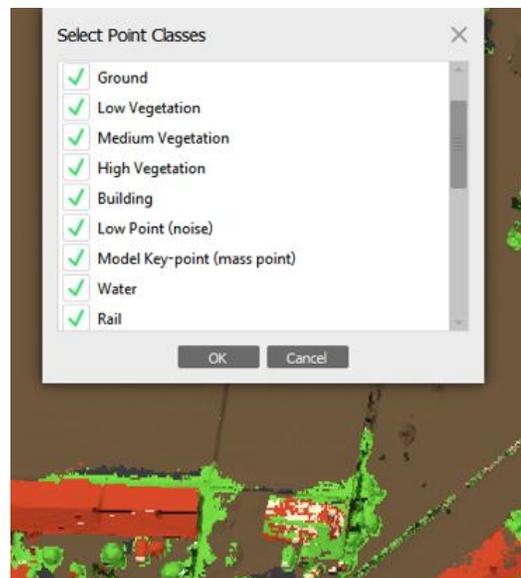


Figura 6.6 Metashape – Filter by classes

6.3 Classificazione automatica della nuvola di punti

Classificare una nuvola di punti è un compito cruciale dell'interpretazione di livello superiore dei dati acquisiti, in cui si associano i punti agli elementi della realtà rilevata, impiegando tecniche di apprendimento automatiche o manuali [36].

Dalla nuvola classificata è possibile estrarre gli attributi dei singoli elementi.

Affinché la classificazione venga effettuata correttamente è necessario calibrare con attenzione i parametri che si impiegano e in seguito validare. I parametri vengono scelti seguendo i criteri definiti nei manuali e si modificano di volta in volta in base ai risultati ottenuti.

L'errore di classificazione automatica può essere corretto manualmente sulla nuvola di punti, attraverso il software Cloud Compare.

La validazione dell'algoritmo viene effettuata su porzioni della nuvola di punti, specialmente sull'area industriale, basandosi sull'ortofoto ad alta risoluzione a disposizione per effettuare dei confronti con la verità a terra.

6.3.1 Classificazione automatica dei punti a terra, calibrazione dei parametri - Metashape

La procedura automatica di classificazione si compone di due fasi [37]:

1. La nuvola densa viene divisa in celle di una certa dimensione, di cui si rileva il punto più basso. Una prima approssimazione di modello del terreno sarà fornita dalla triangolazione di questi punti.
2. Nuovi punti vengono aggiunti alla classe del terreno se soddisfacenti la condizione che la giacenza sia entro una certa distanza dal modello e che l'angolo tra il modello e la linea di collegamento di questo nuovo punto con un punto di una classe di terra sia inferiore ad un certo valore d'angolo.

Questo passo si ripete fino all'esaurimento dei punti da controllare.

I parametri descritti nel manuale del software [38] che regolano le procedure automatiche di classificazione dei punti a terra, sono:

1. Max angle (DEG), che determina una delle condizioni di controllo durante il test, di un punto come punto a terra; cioè imposta la limitazione dell'angolo tra il modello del terreno e la linea di collegamento tra il punto in questione e un punto di una classe di terra. Per un terreno quasi pianeggiante si raccomanda l'impiego di un valore predefinito di 15° come. Se il terreno contiene forti pendenze è ragionevole impostare un valore più alto.
2. Max distance (m): determina una delle condizioni di controllo, durante il test, di un punto come punto a terra; cioè imposta il limite per una distanza tra il punto in questione e il modello del terreno. In realtà, questo parametro determina l'assunzione della variante massima della distanza da terra in un momento dato.
3. Cell size (m): determina la dimensione delle celle di punti della nuvola, che è necessario dividere successivamente nella fase preparatoria della procedura di classificazione dei punti a terra. Il formato della cella deve essere indicato in relazione alla dimensione dell'area più grande all'interno della scena non contenente punti a terra, come ad esempio un edificio o un bosco nelle vicinanze.
4. Erosion radius (m): utile nella classificazione di edifici e alberi per escludere le parti rimanenti quando si costruisce il DTM.

La scelta dei parametri si basa sulla definizione degli stessi. Si riportano quelli adottati nella Figura 6.7, mentre il risultato ottenuto dalla classificazione è indicato in Figura 6.8 e Figura 6.9.

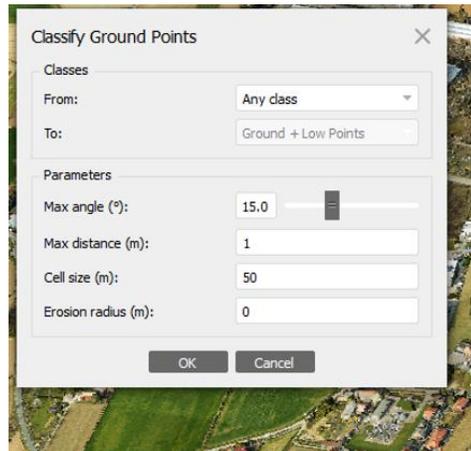


Figura 6.7 Metashape - Classify Ground Points parameters



Figura 6.8 Metashape – Only Ground Points classification

Le caratteristiche del processo di classificazione si riportano in Figura 6.9.

Property	Value
pointcloud_nad_Metashape_tot	
Points	1,054,190,066
Point colors	3 bands, uint8
Ground points classification parameters	
Max angle (°)	15
Max distance (m)	1
Cell size (m)	20
Classification time	4 hours: 4 minutes
Classification memory usage	14.10 GB
File size	13.47 GB

Figura 6.9 Metashape - Le caratteristiche del processo di classificazione

L'algoritmo restituisce un risultato valido, che non include nella classe del terreno le abitazioni, le automobili e la vegetazione (Figura 6.10).



Figura 6.10 Metashape - Only Ground Points classification, dettaglio

6.3.2 Classificazione automatica dei punti su più classi, Metashape

Metashape consente di classificare automaticamente la nuvola densa di punti su più classi [39]: terreno, vegetazione, edifici, strade, automobili ed elementi costruiti dall'uomo (Figura 6.11a).

Le caratteristiche del risultato della classificazione si riportano in Figura 6.11b.

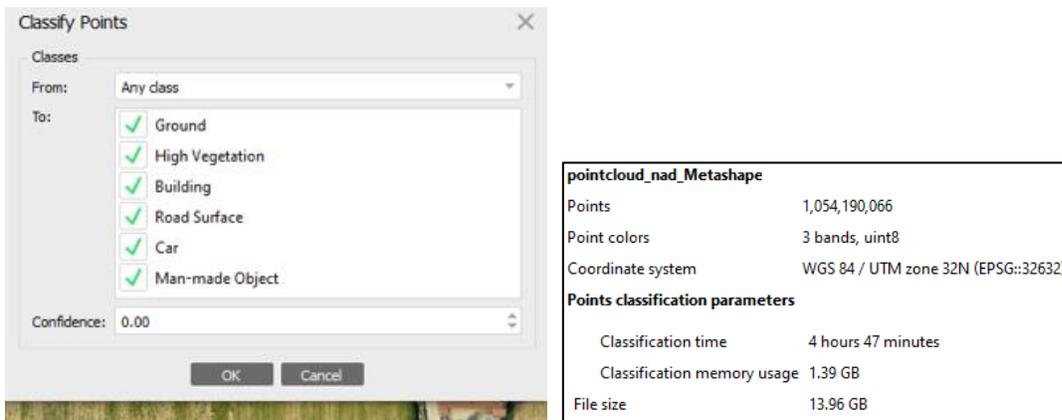


Figura 6.11 a) Metashape - Classify Points; b) il risultato del processo di classificazione

Si restituisce il risultato dell'estrazione su tutte le classi in Figura 6.12 e Figura 6.13, il focus sul comune in Figura 6.14.

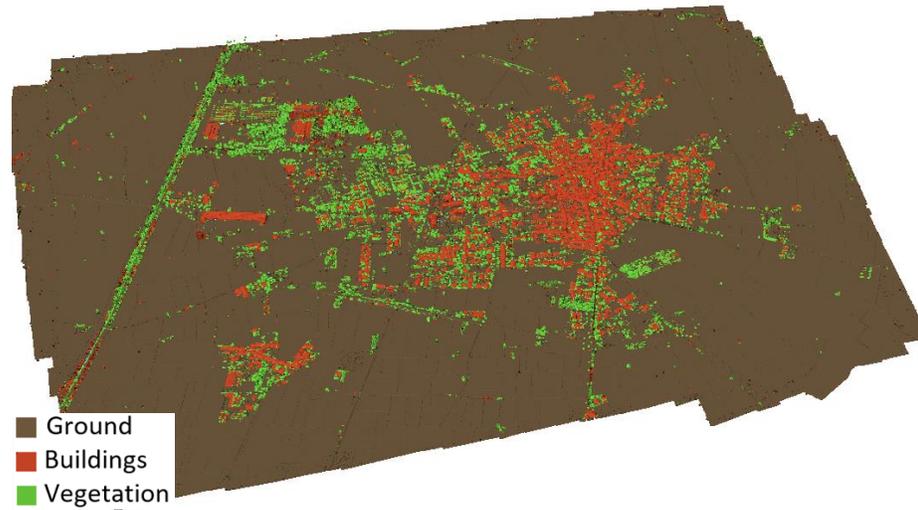


Figura 6.12 Metashape - Classify Points – vista d'insieme

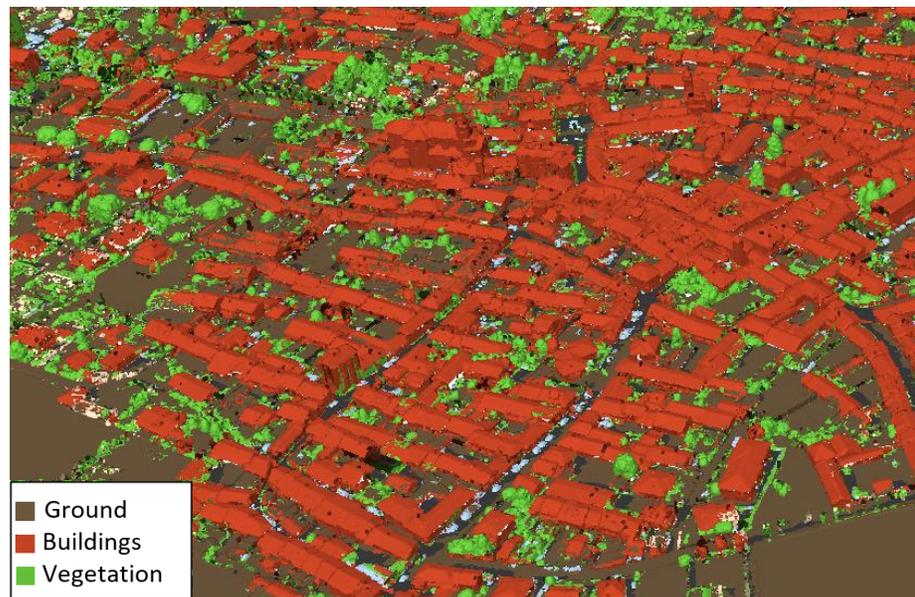


Figura 6.13 Metashape - Classify Points

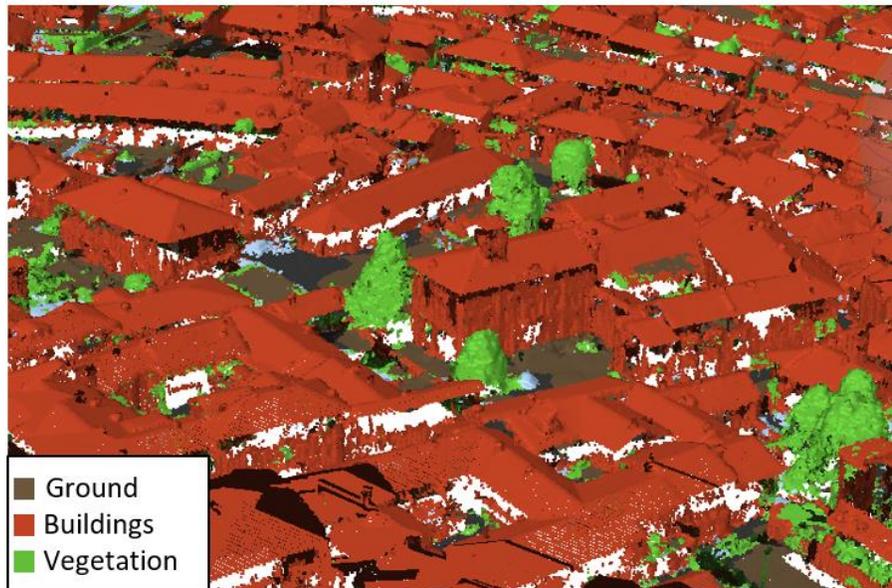


Figura 6.14 Metashape – Classify Points, focus sul comune

I punti classificati come vegetazione si riportano in Figura 6.15, quelli classificati come strade in Figura 6.16



Figura 6.15 Metashape - Punti classificati come vegetazione



Figura 6.16 Metashape - Punti classificati come strade

6.3.3 Classificazione automatica dei punti, calibrazione dei parametri in ingresso - ENVI LiDAR

ENVI LiDAR permette la classificazione automatica della nuvola di punti impostando dei parametri in ingresso che definiscono il criterio secondo cui viene effettuata la classificazione.

La procedura di classificazione adottata in questo lavoro di tesi genera inevitabilmente degli errori di associazione dei punti alle classi, per cui è necessario calibrare i parametri.

Tra le varie classificazioni, effettuate utilizzando diversi parametri in ingresso, si ricerca dunque la combinazione che restituisce il risultato più valido.

I parametri [40] che è possibile definire per l'estrazione degli output sono:

1. La risoluzione dell'ortofoto (m/pixel);

2. La risoluzione, il filtraggio dei lower points (si sceglie rural area filtering per evitare che in zone rurali l'urban filtering possa essere troppo aggressivo), la spaziatura delle curve di livello e la near terrain classification (nella schermata di creazione del DEM). Appartengono a quest'ultima classe la bassa vegetazione, le automobili, gli autobus e così via. I punti potranno essere classificati come tali se rientrano entro una certa distanza in centimetri dalla griglia del DEM.
3. La risoluzione del DSM.
4. L'altezza minima e massima e il raggio minimo e massimo degli alberi.
5. L'area minima, lo spessore del filtro "near ground", la "plane surface tolerance" (tolleranza verticale consentita per la ricerca della superficie) e il range in cui i punti vengono classificati come edifici (buildings point range, utile per rilevare i piani degli edifici quando la densità dei punti non è uguale in tutti i dati). Inoltre è possibile definire un modello di estrazione degli edifici a box che restituisce gli stessi con la superficie superiore semplificata a un piano posto alla quota media del tetto (Height at Average Roof), alla quota alla gronda (Height at Bottom Roof) o alla quota al colmo (Height at Top Roof).
6. La minima altezza delle linee elettriche, il filtro per estrarre gli alberi al di sotto delle linee elettriche e il filtraggio delle linee elettriche sulla base di una lunghezza minima.

Il processing su ENVI Lidar della nuvola di punti restituisce file vettoriali e puntuali, dei quali si va a verificare la corrispondenza con la realtà.

6.3.4.a ENVI LiDAR, prima classificazione

La procedura di estrazione degli output, con relativo formato di export, viene specificata nella schermata del software di Figura 6.17; i parametri scelti nella prima classificazione sono indicati in Figura 6.18.

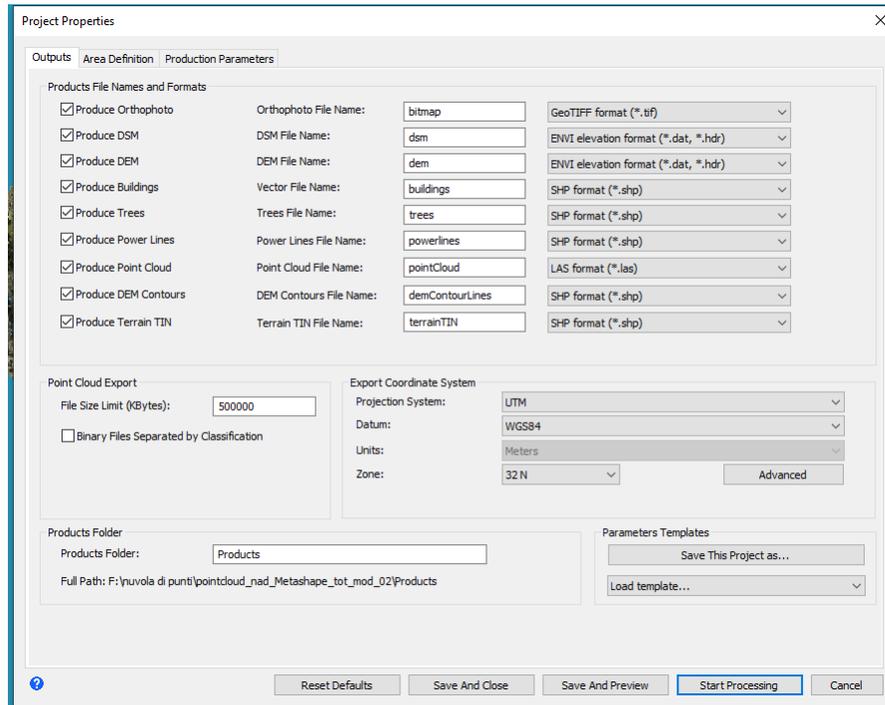


Figura 6.17 ENVI LiDAR - project properties outputs, prima classificazione

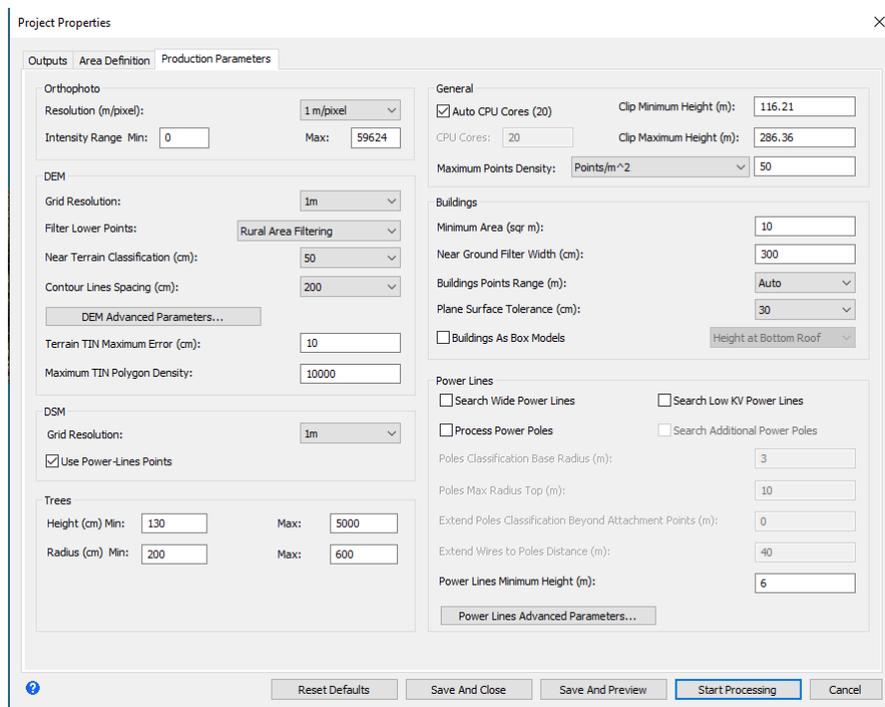


Figura 6.18 ENVI LiDAR - project parameters production parameters, prima classificazione

L'area su cui viene effettuata la classificazione è rappresentata in Figura 6.19, che corrisponde a tutto il dataset acquisito.

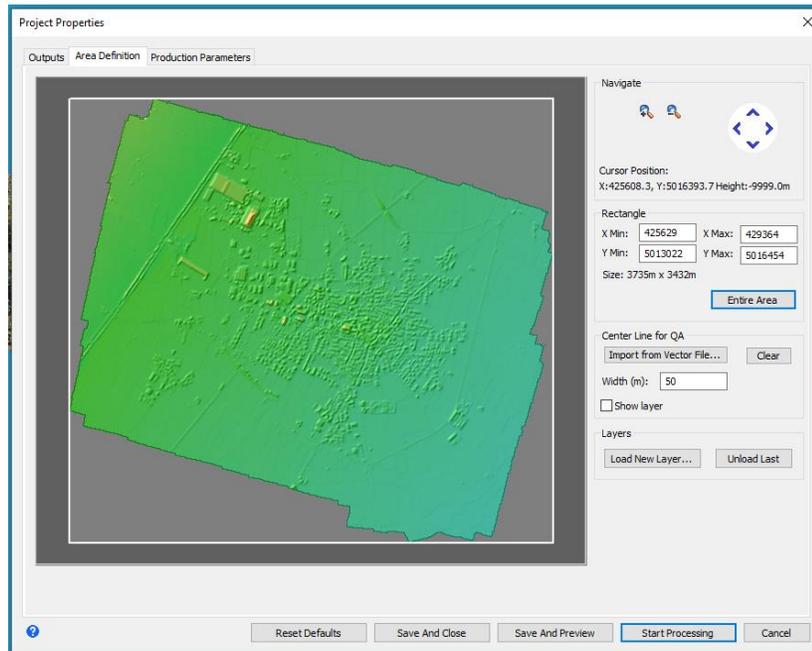


Figura 6.19 ENVI LiDAR - Classify Points, project parameters – area definition

Il risultato della prima classificazione è rappresentato in Figura 6.20 e in Figura 6.21, la durata del processo di classificazione è pari a 5h:26m:42.8s.

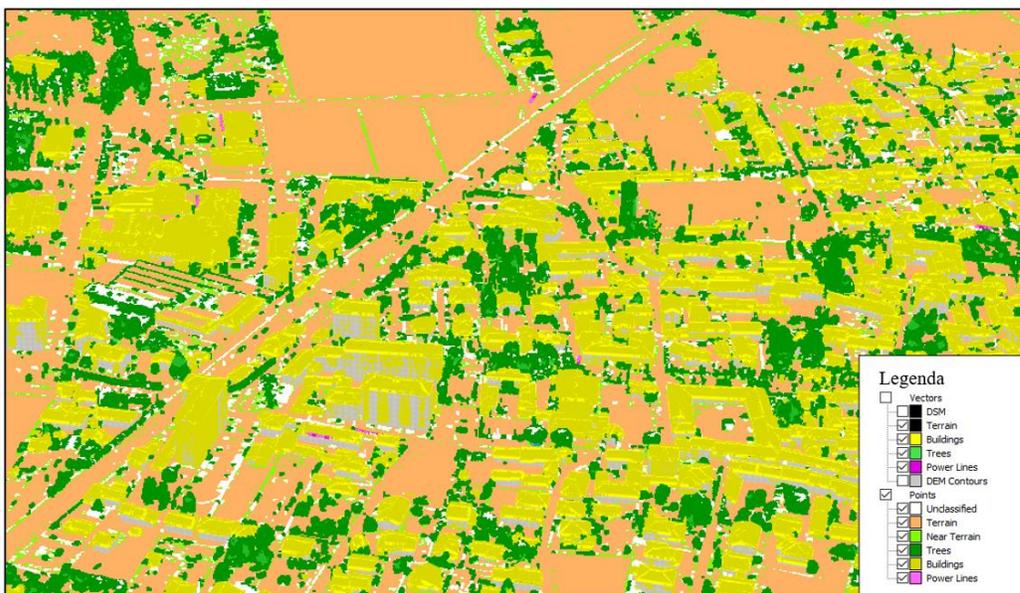


Figura 6.20 ENVI LiDAR - risultato della prima classificazione



Figura 6.21 ENVI LiDAR - Classify Points prima classificazione, vista del sottopasso

Si riporta in Figura 6.22 la classificazione della nuvola di punti con gli stessi parametri di ingresso, ma senza individuare la classe dei punti prossimi al terreno.



Figura 6.22 ENVI LiDAR - risultato della prima classificazione, senza classificazione dei punti prossimi al terreno

In Figura 6.23 si rappresenta il risultato della prima classificazione con dettaglio sul comune, in Figura 6.24 il dettaglio sull'area di attesa Galileo Ferraris e in Figura 6.25 il dettaglio sull'area di attesa Piazza Possis.

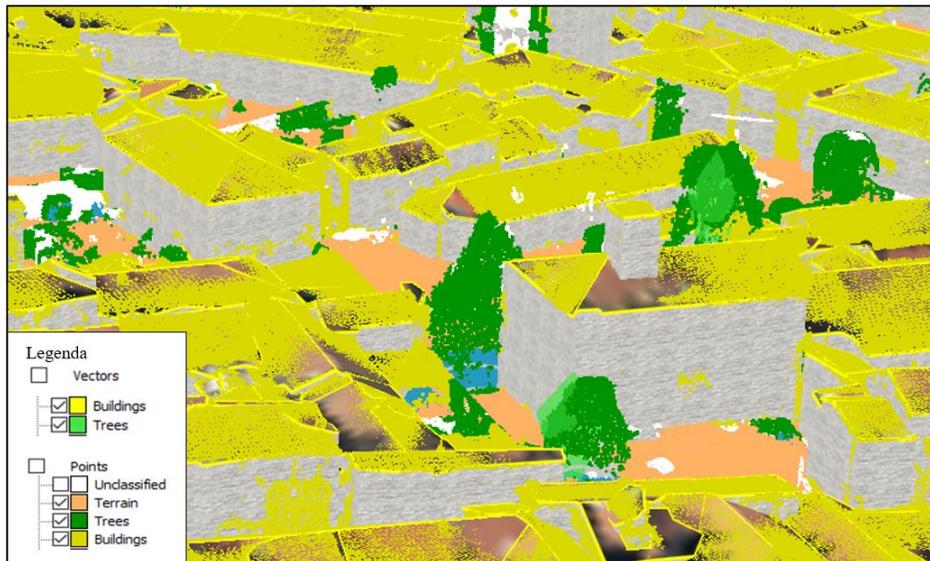


Figura 6.23 ENVI LiDAR - risultato della prima classificazione, dettaglio sul comune

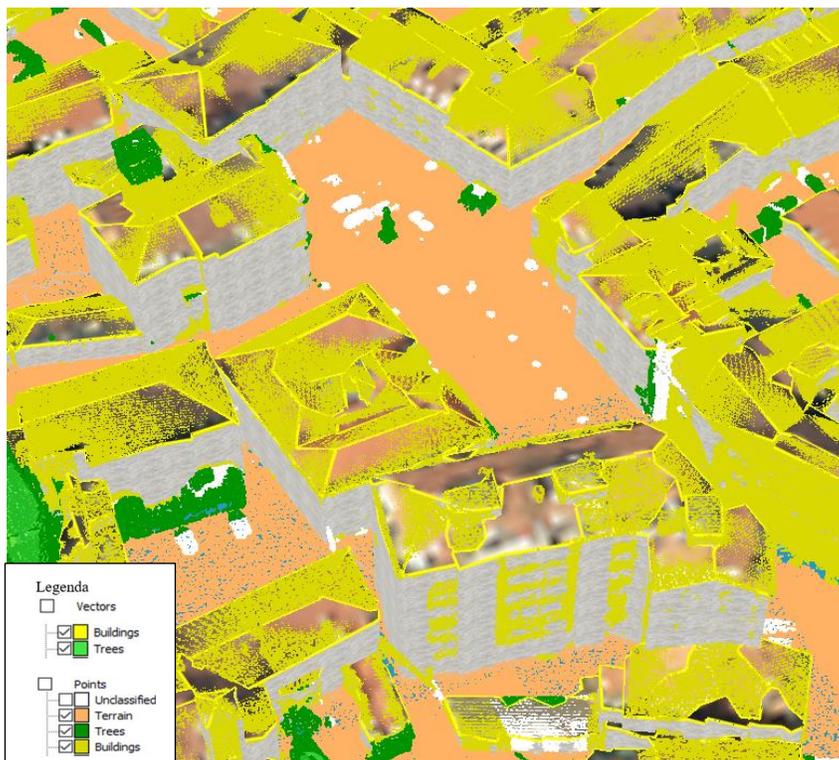


Figura 6.24 ENVI LiDAR - risultato della prima classificazione, dettaglio sull'area di attesa G. Ferraris



Figura 6.25 ENVI LiDAR - risultato della prima classificazione, area di attesa Piazza Possis

6.3.4.b ENVI LiDAR, seconda classificazione

Per verificare l'ottenimento di risultati migliori, la nuvola di punti viene classificata ma con parametri differenti (Figura 6.26 e Figura 6.27).

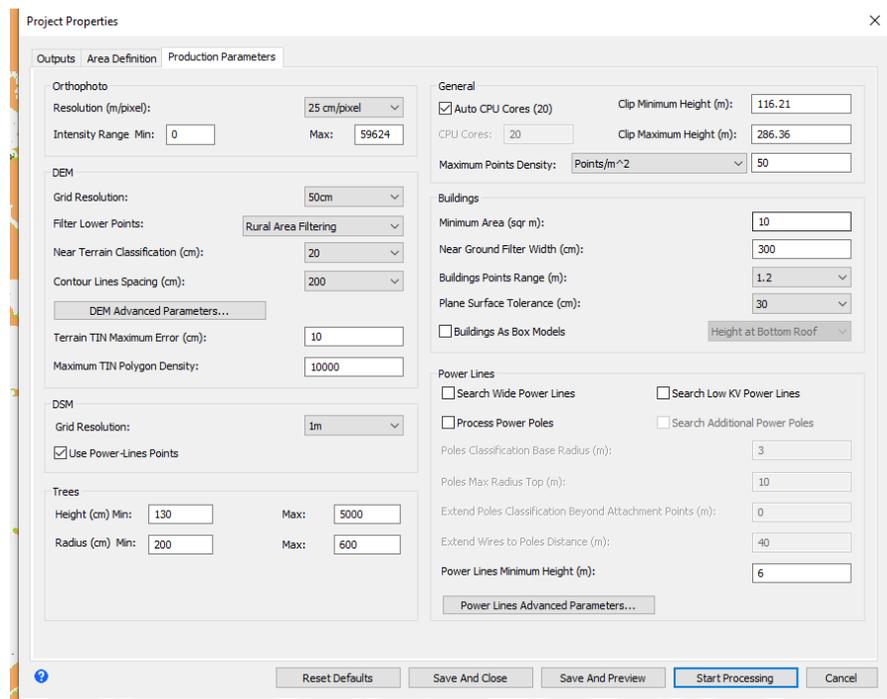


Figura 6.26 ENVI LiDAR - project parameters production parameters, seconda classificazione

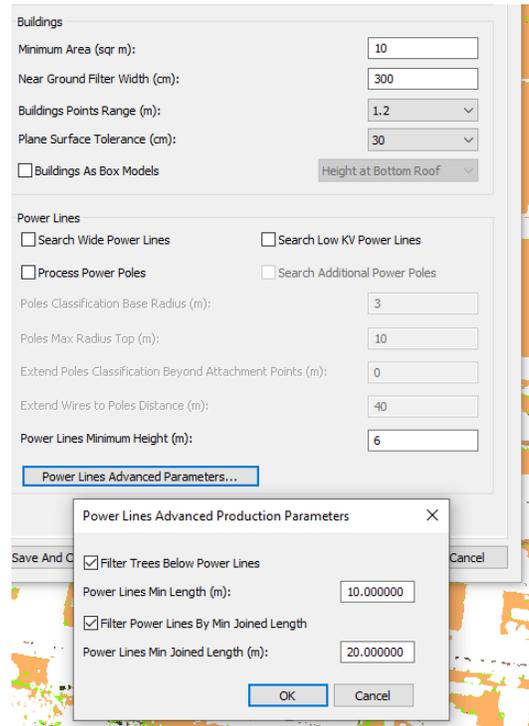


Figura 6.27 ENVI LiDAR - Classify Points, buildings and power lines parameters
Il risultato della classificazione si riporta in Figura 6.28.



Figura 6.28 ENVI LiDAR - Classify Points seconda classificazione, vista del sottopasso

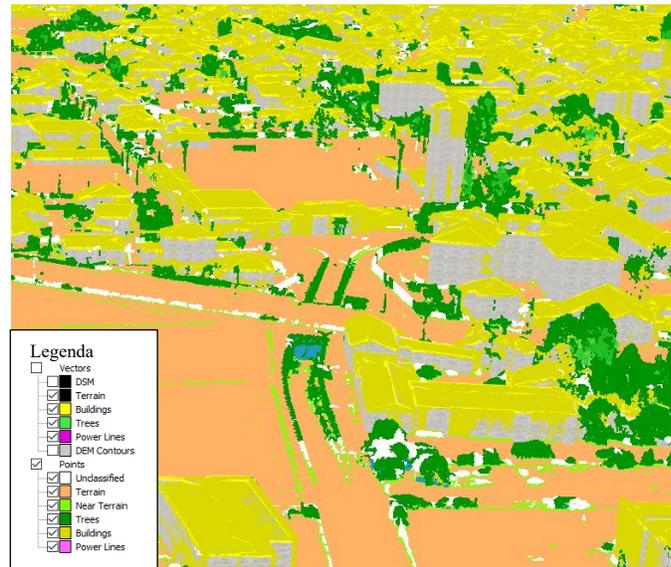


Figura 6.29 ENVI LiDAR - Classify Points seconda classificazione, vista del sottopasso

Impostando i parametri definiti nella prima classificazione alcuni elementi del costruito non risultano correttamente classificati, si imposta dunque il buildings point range non automatico ma pari a 1.2. In Figura 6.30 si riporta il confronto tra i risultati delle 2 classificazioni ottenute in vicinanza del sottopasso di Livorno Ferraris sito in via P.Milone (Figura 6.31).

La prima classificazione restituisce il torrino piezometrico (Figura 6.30.a) come elemento della vegetazione (classe trees) e non del costruito (classe building), mentre la seconda classificazione lo classifica correttamente (Figura 6.30.b).

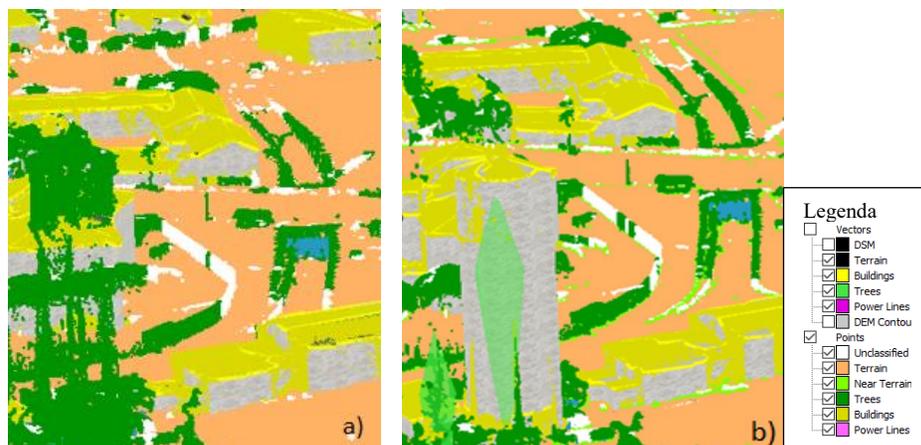


Figura 6.30 ENVI LiDAR - Classify Points, confronto buildings point range a) Auto, b) 1.2



Figura 6.31 ENVI LiDAR – Il sottopasso. Fonte: Google Earth

Per verificare l'ottenimento di risultati migliori sulla classificazione delle linee elettriche, vengono modificati i parametri che definiscono i criteri di estrazione.

Al fine di evitare che gli alberi bassi vengano estesi fino alle linee elettriche si imposta il filtro “trees below power lines”.

Inoltre, si adotta il filtro che identifica gli elementi lineari come linee elettriche se aventi una lunghezza minima. In questo modo i segmenti di elettrodotti uniti di lunghezza inferiori a tale valore non vengono classificati come tali. Nonostante queste modifiche, il risultato ottenuto non rappresenta adeguatamente le linee elettriche.

6.3.4.c ENVI LiDAR, classificazione box model

ENVI LiDAR consente di classificare ed estrarre gli edifici anche secondo una procedura chiamata “box model”, che si adatta bene solitamente nel caso di buchi nel modello acquisito. Il risultato della classificazione si riporta in Figura 6.32, con un focus su parte dell'edificato in Figura 6.33; la durata del processo di classificazione è pari a 5h:15m:34.3s.



Figura 6.32 ENVI LiDAR - Classify Points, box model buildings with height at bottom roof



Figura 6.33 ENVI LiDAR - Box model buildings with height at bottom roof, dettaglio su parte dell'edificato

6.3.3.c ENVI LiDAR, Gli edifici estratti

ENVI LiDAR permette di estrarre sia gli edifici singoli (Figura 6.34) che l'agglomerato urbano (Figura 6.35), con i relativi attributi.

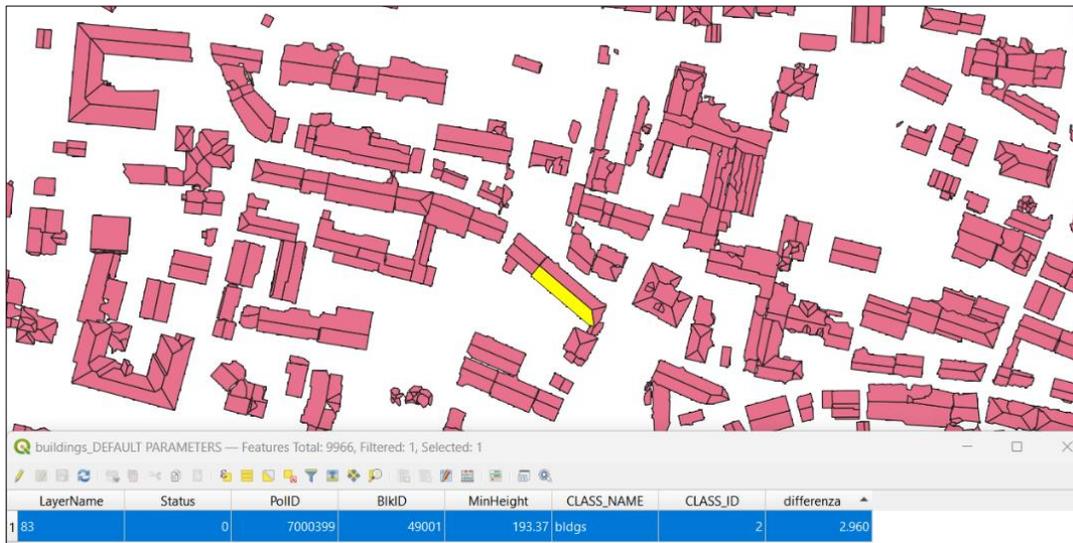


Figura 6.33 QGIS – Gli edifici

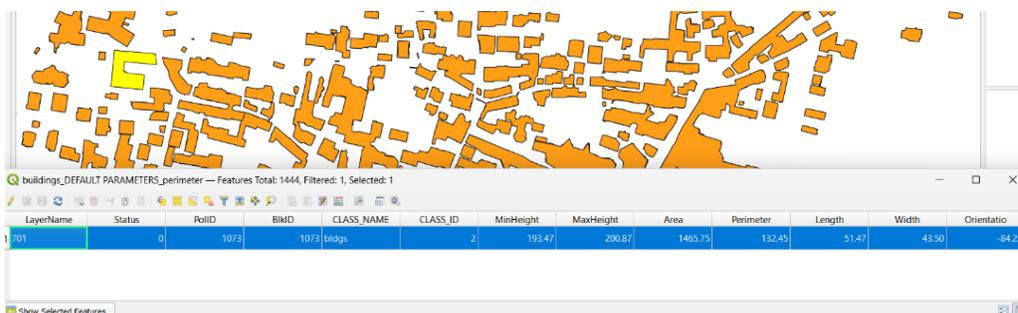


Figura 6.34 QGIS – L'aggregato urbano

6.3.3.d ENVI LiDAR, Gli alberi estratti

Lo shape file puntuale, che rappresenta gli alberi estratti da ENVI LiDAR e contenente gli attributi di altezza massima ed estensione della chioma, può essere importato comodamente su un Gis per svolgere delle analisi.

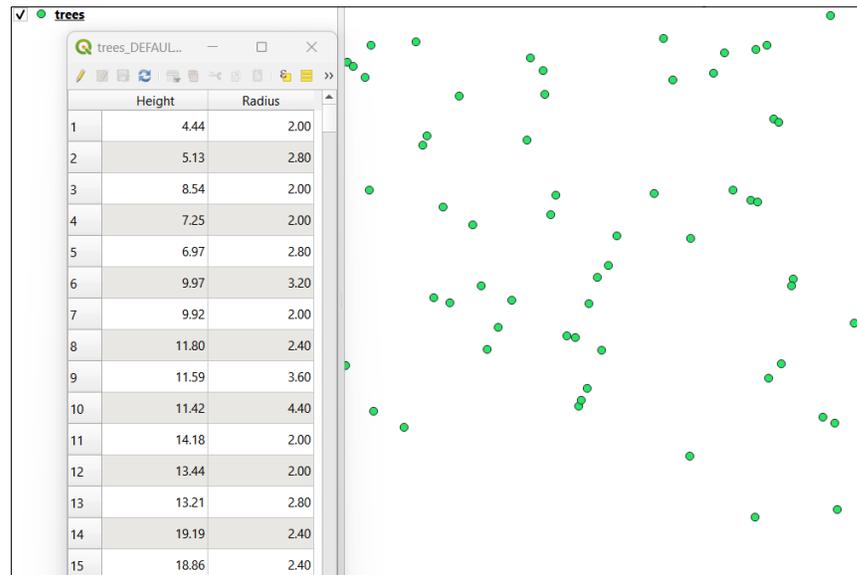


Figura 6.34 QGIS – Gli alberi estratti da ENVI LiDAR

6.4 Errori di classificazione automatica

6.4.1 Errata classificazione automatica dei punti del terreno - Metashape

La classificazione automatica della nuvola di punti restituisce un risultato adeguato ed efficiente su tutta la nuvola di punti, ad eccezione della zona industriale (Figura 6.34).

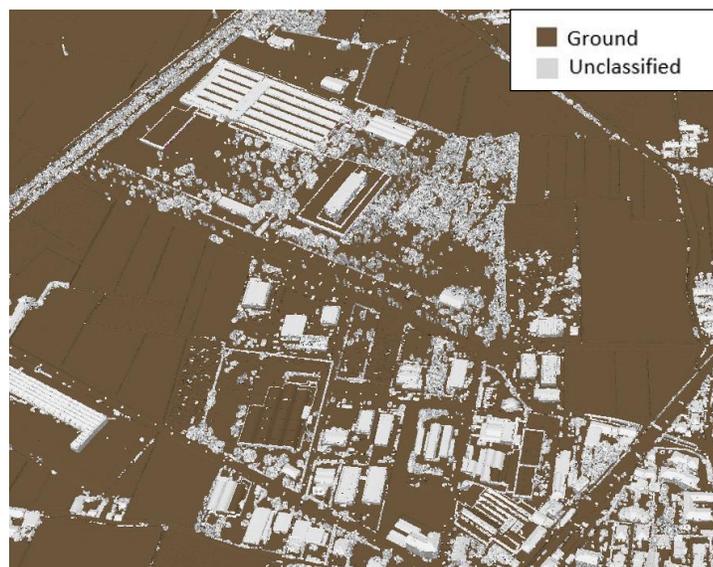


Figura 6.34 Metashape - Classify Ground Points, classificazione errata nell'area industriale

L'algoritmo ingloba le strade nella classe del terreno, non permettendo di distinguere le aree pavimentate da quelle appartenenti ad esso. Questo aspetto non genera però problemi ai fini della costruzione del DTM.

6.4.2 Errata classificazione automatica dei punti su più classi – Metashape

La classificazione automatica dei punti su Metashape genera alcuni errori, tra cui è evidente:

- l'errata attribuzione dei punti facenti parte del Polivalente alla classe del terreno (Figura 6.35.a);
- l'errata classificazione del torrino piezometrico di Figura 6.35.b, che viene in parte assegnato alla classe vegetation;
- l'inesatta classificazione delle strade che vengono estratte come frammentate (Figura 6.36);
- l'errata classificazione del campanile della Chiesa Parrocchiale di San Lorenzo Martire e dei silos come elementi della vegetazione (Figura 6.37);
- l'errata classificazione dei silos (Figura 6.38).

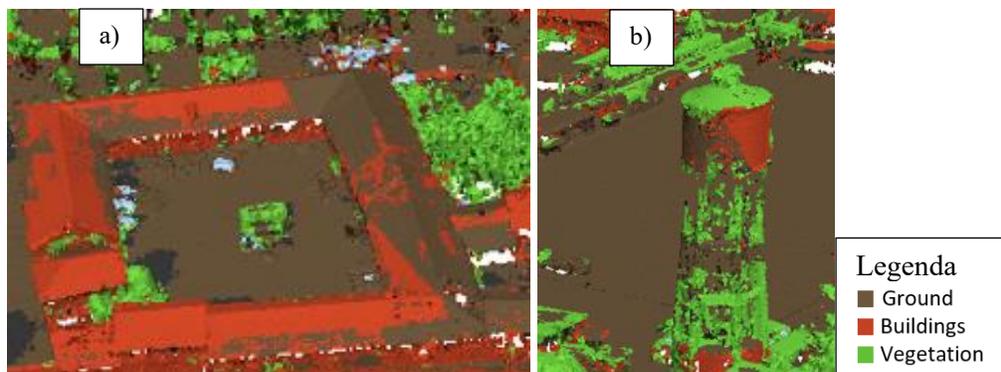


Figura 6.35 Metashape - Classify Points, errore sulla classificazione del Polivalente (a) e del torrino piezometrico (b)



Figura 6.36 Metashape - Classify Points, errore sulla classificazione delle strade

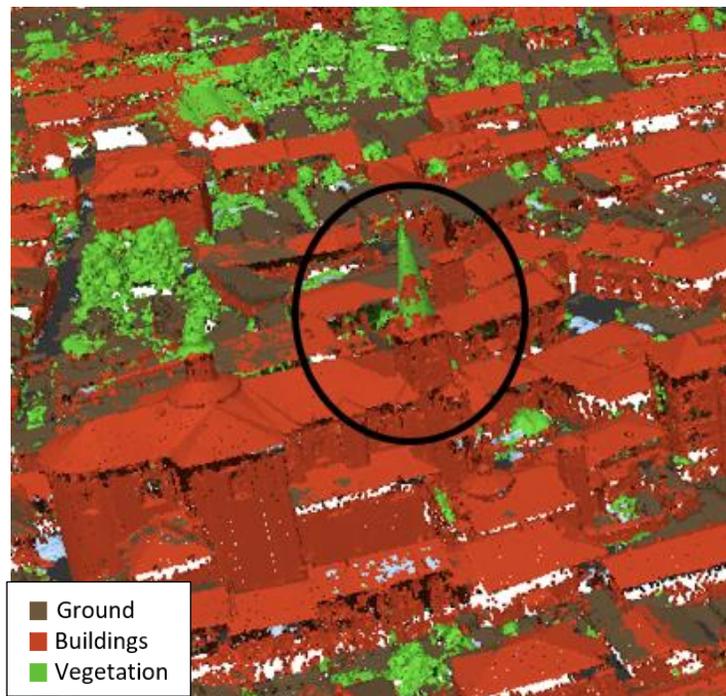


Figura 6.37 Metashape - Classify Points, errore sulla classificazione del campanile



Figura 6.38 Metashape - Classify Points, errore sulla classificazione dei silos

6.4.3 Errata classificazione automatica dell'edificato –ENVI LiDAR

La classificazione con ENVI LiDAR restituisce delle differenze nell'estrazione degli edifici e dell'aggregato urbano (Figura 6.39). Nello specifico, i poligoni estratti dell'aggregato urbano corrispondono meno alla realtà.

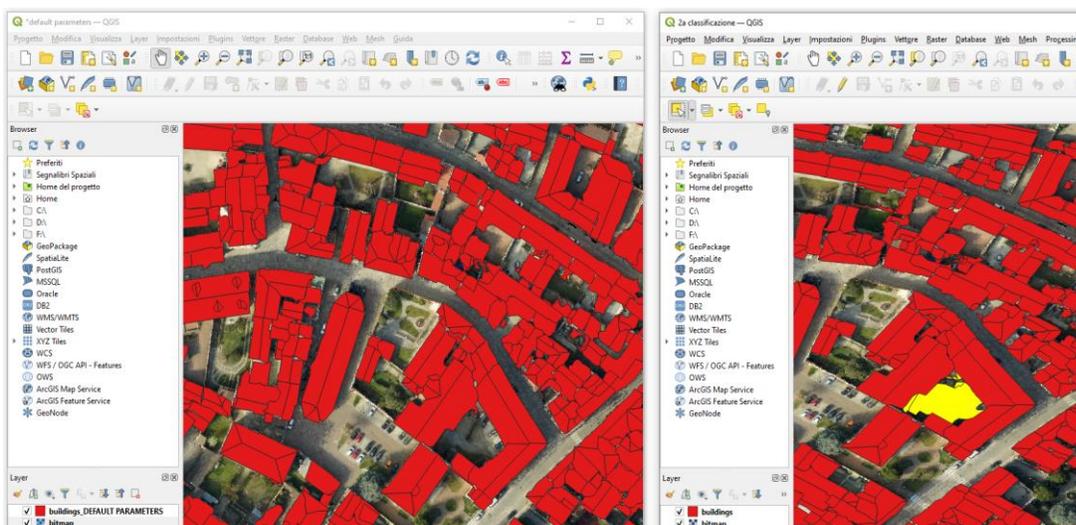


Figura 6.39 QGIS – Differenze edifici e aggregato urbano

6.4.4 Errata classificazione automatica della vegetazione

ENVI LiDAR

La classificazione automatica dei punti su ENVI LiDAR genera alcuni errori, tra cui è evidente l'inesatta attribuzione del campanile della Chiesa Parrocchiale di San Lorenzo Martire alla classe della vegetazione (Figura 6.40).

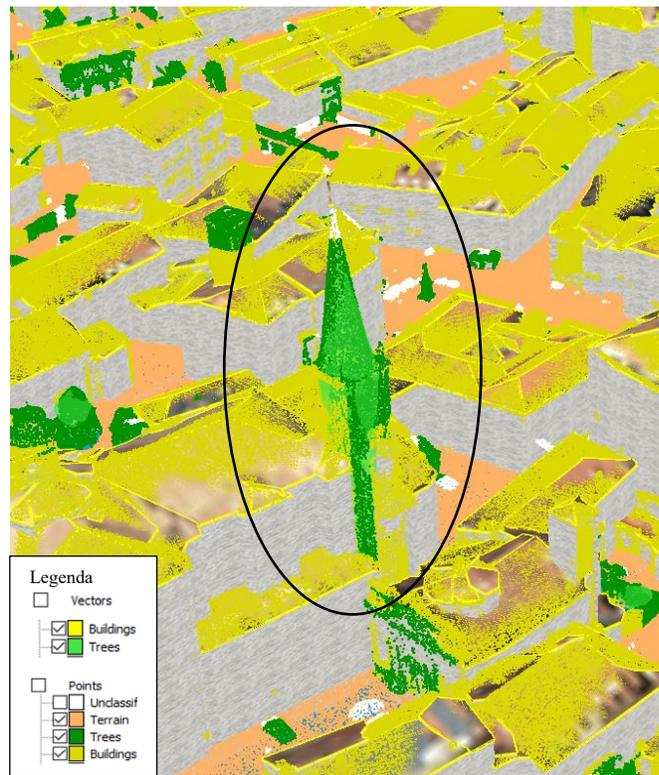
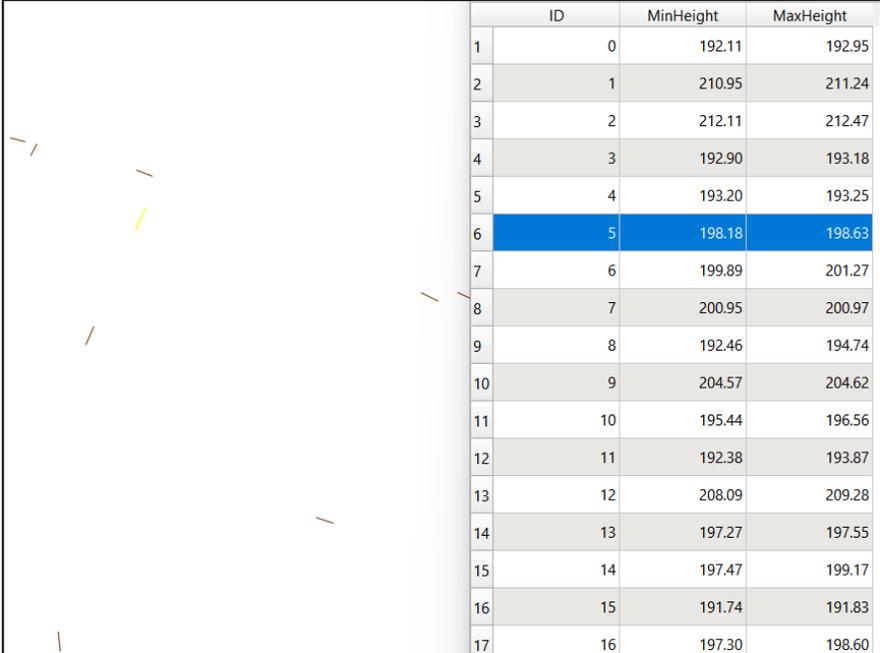


Figura 6.40 Metashape - Classify Points, errore sulla classificazione del campanile

6.4.5 Errata classificazione automatica delle linee elettriche –ENVI LiDAR

Le reti di linee elettriche si trovano spesso in aree non facilmente accessibili e difficili da rilevare. Le elaborazioni sulle nuvole di punti consentono di ottenere dei dati di output rapidi, efficaci e accurati, con un livello di dettaglio che precedentemente era irraggiungibile su questo tipo di infrastrutture.

Tuttavia, la classificazione delle linee elettriche in questo caso studio fornisce un risultato che rileva assenza di continuità dei cavi. Le linee elettriche estratte importate su QGIS (Figura 6.41) appaiono infatti frammentate, questo indica una classificazione non andata a buon fine.



	ID	MinHeight	MaxHeight
1	0	192.11	192.95
2	1	210.95	211.24
3	2	212.11	212.47
4	3	192.90	193.18
5	4	193.20	193.25
6	5	198.18	198.63
7	6	199.89	201.27
8	7	200.95	200.97
9	8	192.46	194.74
10	9	204.57	204.62
11	10	195.44	196.56
12	11	192.38	193.87
13	12	208.09	209.28
14	13	197.27	197.55
15	14	197.47	199.17
16	15	191.74	191.83
17	16	197.30	198.60

Figura 6.41 QGIS – Le linee elettriche caricate sul QGIS

Esistono in letteratura degli esempi di classificazione delle linee elettriche, che vengono estratte ad esempio con alcuni metodi di classificazione del tipo “combined with multi-scale vertical cylindrical neighborhood, the RF classifier and selected core feature sets” (Wang et al., 2018). Questi sono identificati come soluzione ottimale, riuscendo a bilanciare sia l'accuratezza della classificazione che il tempo di elaborazione. L'algoritmo descritto appartiene a una classificazione supervisionata, ma nel futuro si dovrà cercare di sviluppare un metodo efficiente di classificazione della linea elettrica senza supervisione, a partire dalla nuvola di punti LiDAR in scene complesse [41].

La classificazione delle linee elettriche è stata testata anche utilizzando un algoritmo chiamato Voxel-based Piece-wise Line Detector, VPLD, (Jwa et al. nel

2009), che si basa sulla segmentazione impiegando il classificatore Markov Random Field (MRF). Gli esperimenti mostrano che più del 93.26% delle linee elettriche vengono classificate e che il metodo proposto risulta il più efficiente per l'estrazione delle stesse. Il lavoro in futuro dovrà concentrarsi sulla ricerca di soluzioni ideali per le classificazioni e vettorizzazioni semiautomatiche [42].

6.5 Classificazione manuale della nuvola di punti

Per poter validare il processo di classificazione adoperato, che risente degli errori mostrati nel paragrafo precedente, la nuvola di punti viene classificata manualmente.

6.5.1 Classificazione manuale dei punti – Cloud Compare

L'estrazione dei soli punti del terreno su Metashape restituisce degli errori. Utilizzando Cloud Compare è possibile cambiare manualmente le classi della nuvola di punti attraverso una selezione circolare a raggio variabile (Figura 6.42 e Figura 6.43).

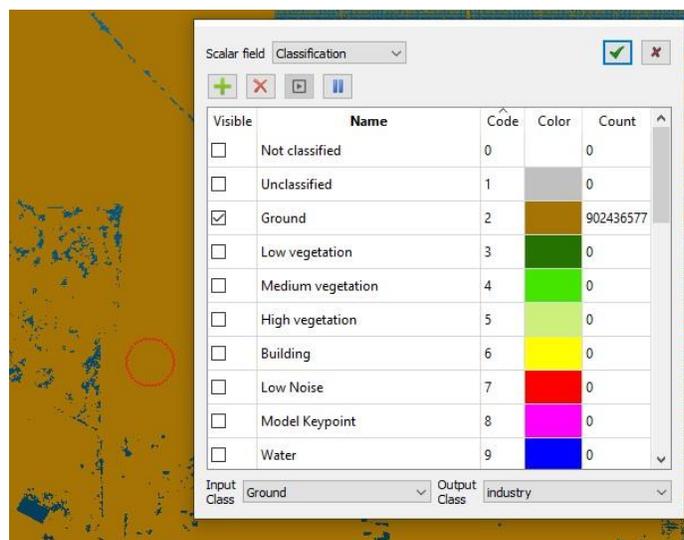


Figura 6.42 Cloud Compare – manual classification

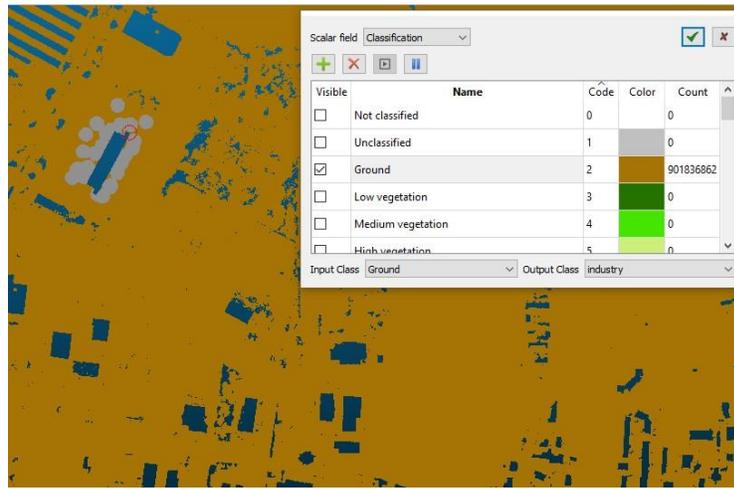


Figura 6.43 Cloud Compare – manual classification

I punti classificati in maniera errata vengono assegnati manualmente alla classe denominata “industria” (Figura 6.44).

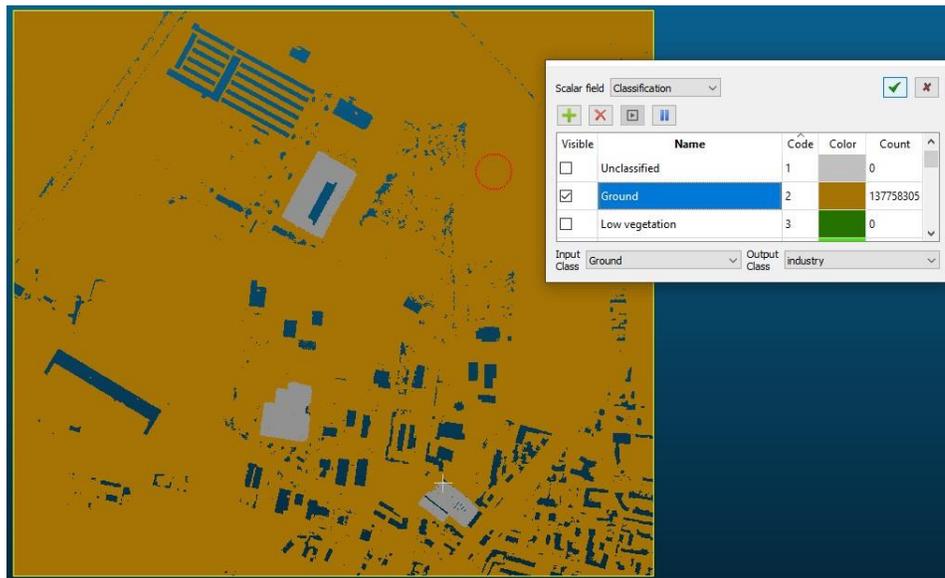


Figura 6.44 Cloud Compare – assegnazione manuale dei punti appartenenti al terreno alla classe denominata industria

6.6 Generazione del DSM

Con DSM [43] (Digital Surface Model) si intende il modello che descrive l'andamento della superficie terrestre comprensiva degli oggetti (edifici, alberi ed altri manufatti) che sono posti al di sopra (Figura 6.45). In questo lavoro di tesi il DSM è stato generato con i software Metashape ed ENVI LiDAR.

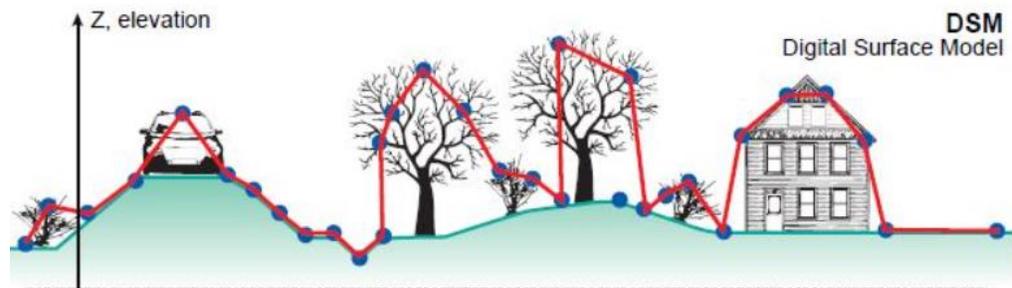


Figura 6.45 DSM. Fonte: <https://3dmetrica.it/dtm-dsm-dem/>

6.6.1 Generazione del DSM – Metashape

I parametri scelti su Metashape per la generazione del DSM si riportano in Figura 6.46, il risultato in Figura 6.47 e i tempi di processamento in Figura 6.48.

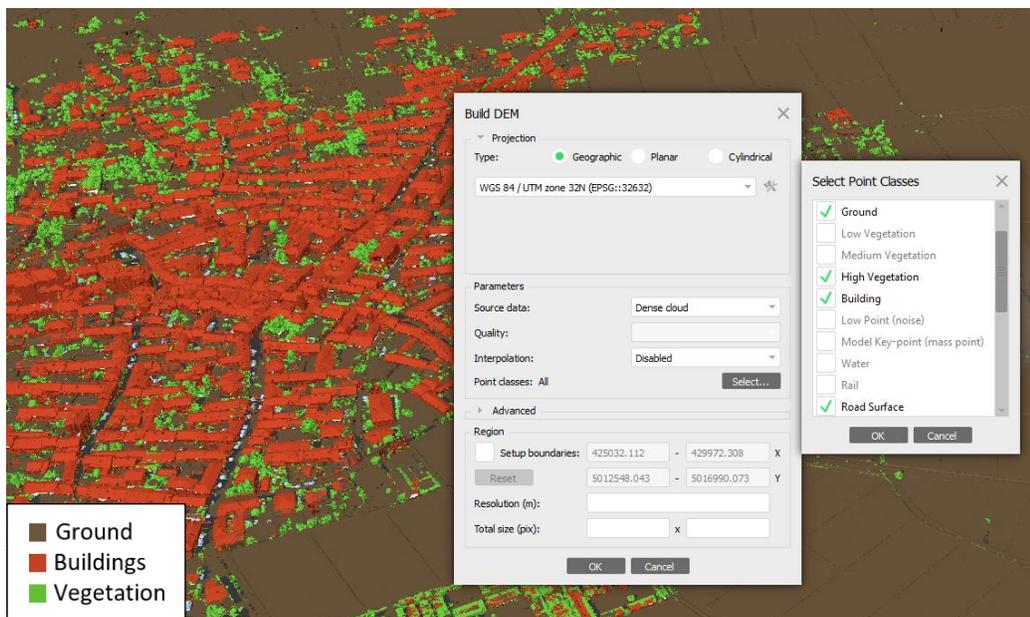


Figura 6.46 Metashape - Build DSM

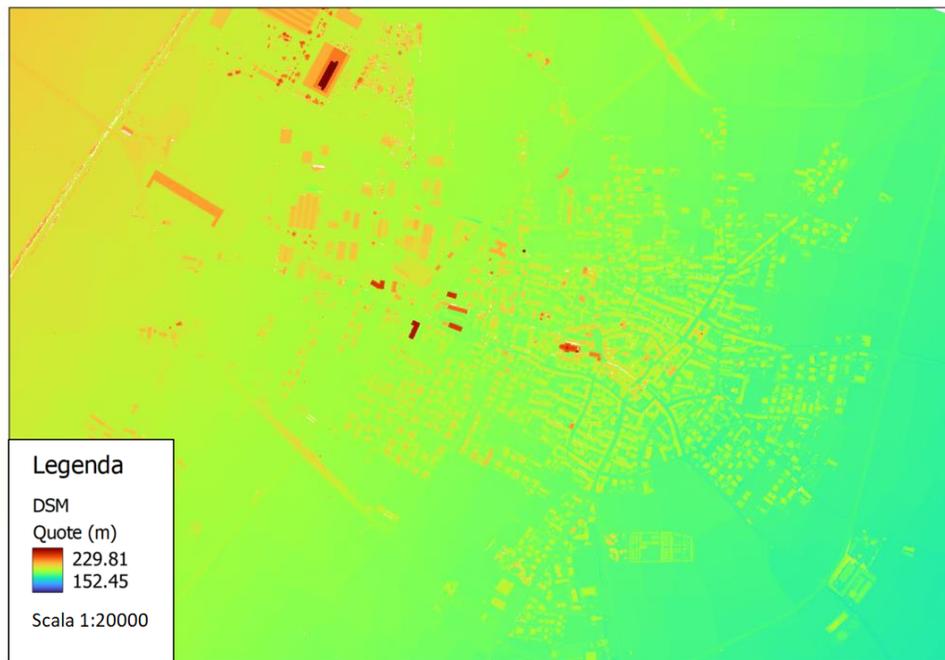


Figura 6.47 Metashape – DSM

Property	Value
DEM	
Size	52,877 x 47,545
Coordinate system	WGS 84 / UTM zone 32N (EPSG::32632)
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Disabled
Processing time	21 minutes 7 seconds
Memory usage	327.27 MB
Date created	2023:01:09 18:07:51
Software version	1.8.4.14856
File size	2.98 GB

Figura 6.48 Metashape – caratteristiche del processo di costruzione del DSM

6.6.2 Generazione del DSM – ENVI LiDAR

Il DSM estratto da ENVI LiDAR, riportato in Figura 6.49, è ottenuto impostando una grid resolution di 1 m.

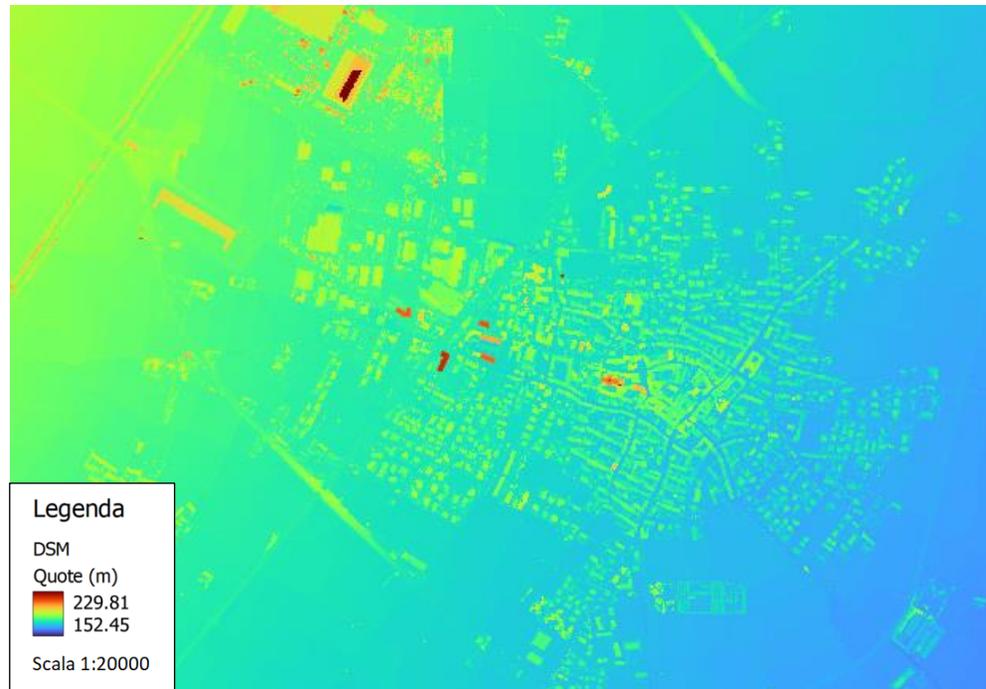


Figura 6.49 ENVI LiDAR – DSM

6.7 Generazione del DTM

Il DTM [44] è una rappresentazione tridimensionale della superficie della terra, filtrata dagli elementi antropici o vegetazionali (Figura 6.50). In questo lavoro di tesi il DTM è stato generato con i software Metashape ed ENVI LiDAR.

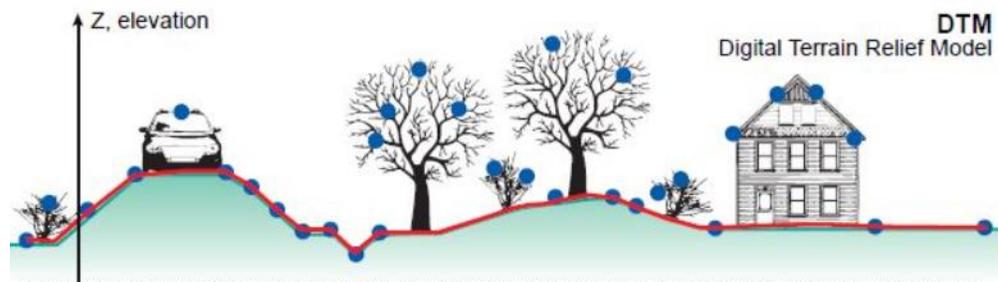


Figura 6.50 DTM. Fonte: <https://3dmetrica.it/dtm-dsm-dem/>

6.7.1 Generazione del DTM – Metashape

Si riportano i parametri scelti per la generazione del DTM su Metashape in Figura 6.51, le proprietà del processamento in Figura 6.52 e il risultato in Figura 6.53. In corrispondenza degli edifici si ha assenza di valore, data la scelta di disabilitare la funzione di interpolazione nella generazione del DTM (Figura 6.53). Lasciando attiva l'interpolazione, il software avrebbe invece generato un risultato non valido, restituendo un “empty DEM”.

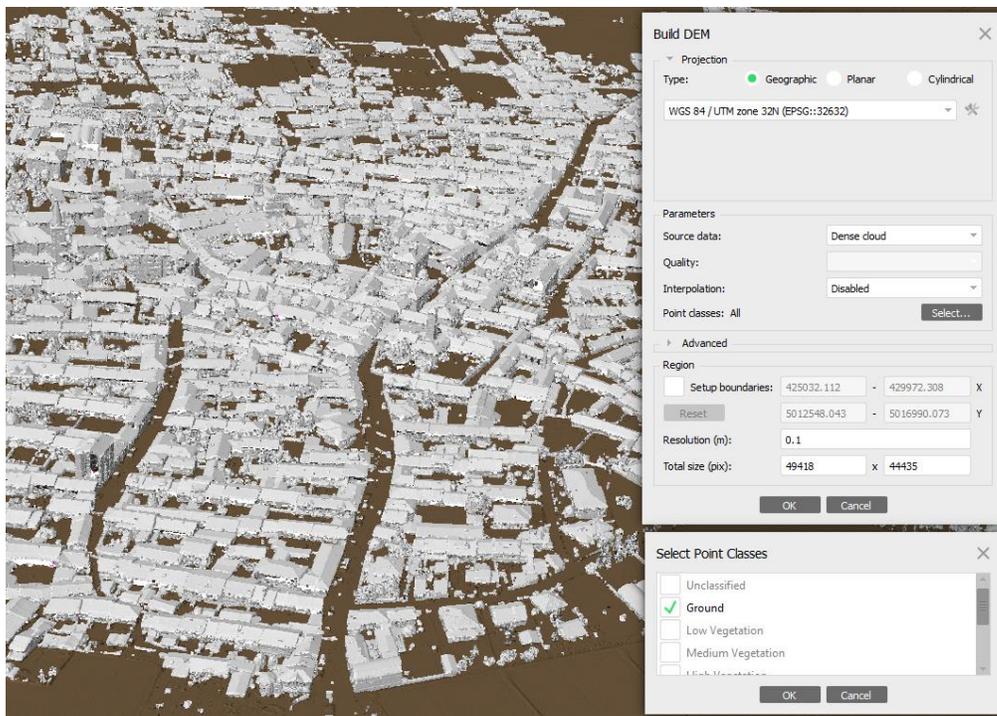


Figura 6.51 Metashape - Build DTM

Property	Value
DEM	
Size	49,418 x 44,435
Coordinate system	WGS 84 / UTM zone 32N (EPSG::32632)
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Disabled
Processing time	16 minutes 23 seconds
Memory usage	342.32 MB
Date created	2023:03:15 08:19:48
Software version	1.7.5.13229
File size	2.33 GB

Figura 6.52 Metashape - Build DTM

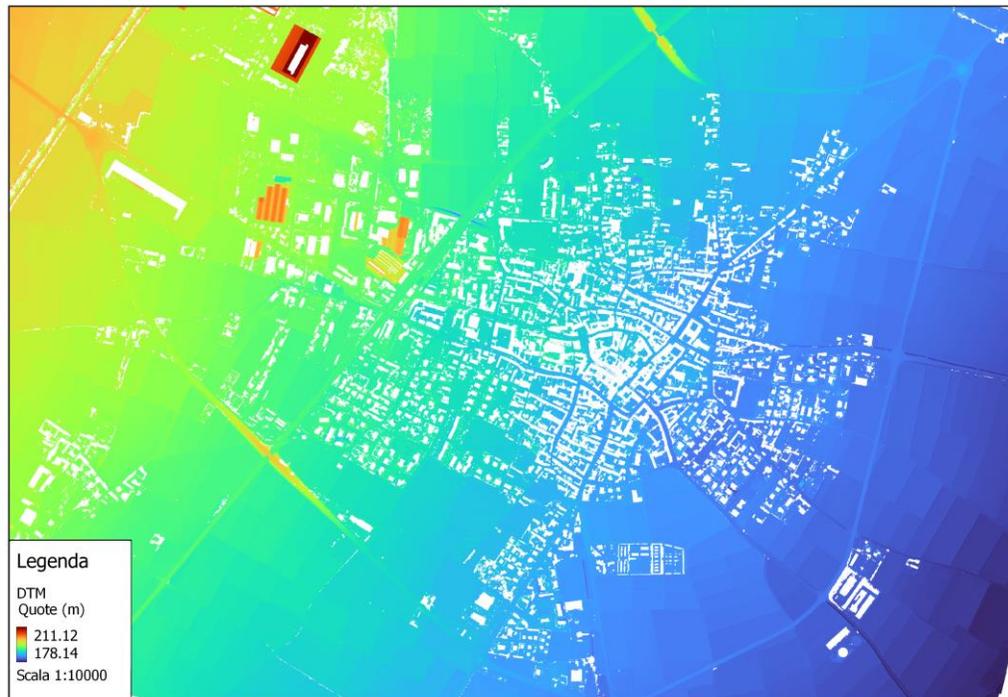


Figura 6.53 Metashape – DTM

Il DTM ottenuto con Metashape è un prodotto che funziona bene su tutta l'area edificata del comune, tranne che nella zona industriale, in cui è richiesta una classificazione manuale della nuvola di punti. Il confronto tra il DTM iniziale e quello ottenuto in seguito alla classificazione manuale si riporta in Figura 6.54.

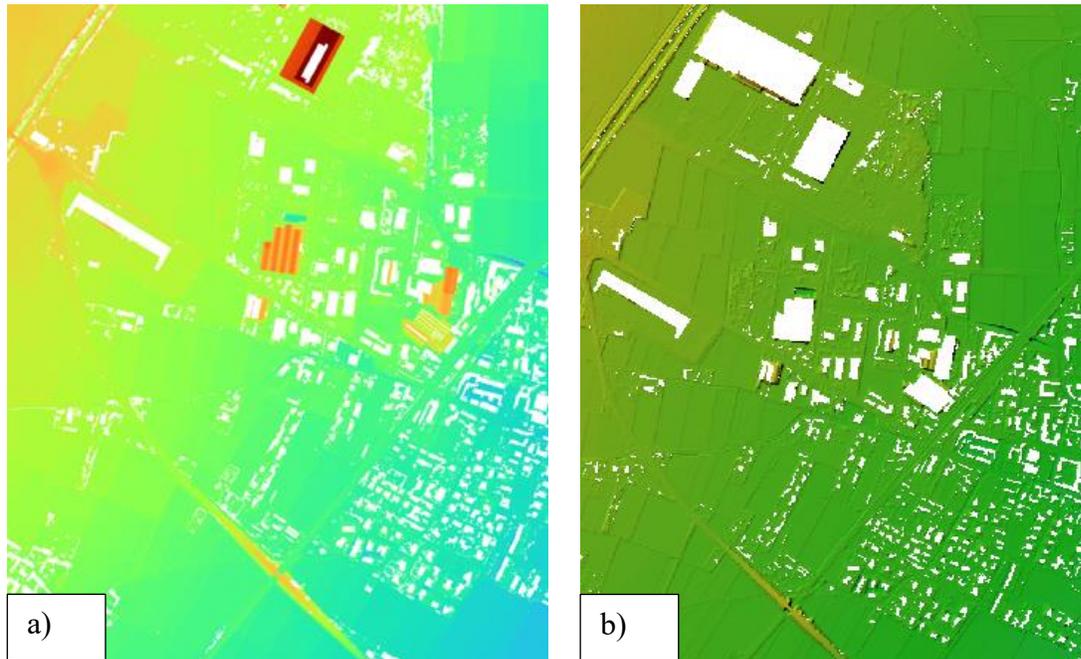


Figura 6.54 Metashape – Confronto tra il DTM pre (a) e post (b) classificazione manuale

6.7.2 Generazione del DTM – ENVI LiDAR

I parametri per la generazione del DTM su ENVI LiDAR sono indicati in Figura 6.55; il risultato si riporta in Figura 6.56.

DEM	
Grid Resolution:	50cm
Filter Lower Points:	Rural Area Filtering
Near Terrain Classification (cm):	20
Contour Lines Spacing (cm):	200
<input type="button" value="DEM Advanced Parameters..."/>	
Terrain TIN Maximum Error (cm):	10
Maximum TIN Polygon Density:	10000

Figura 6.55 ENVI LiDAR - DTM properties

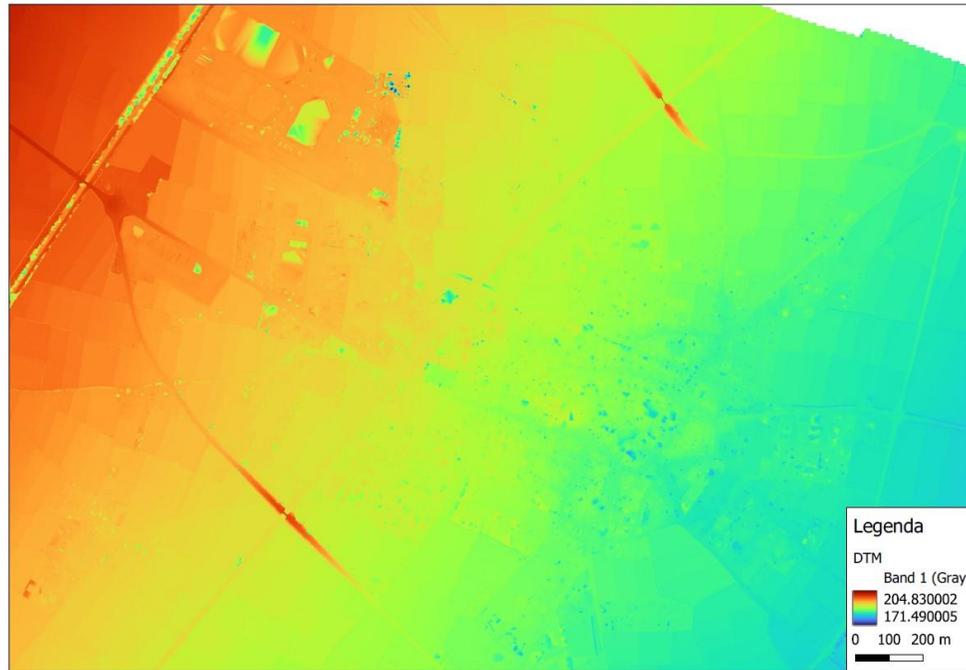


Figura 6.56 ENVI LiDAR - DTM

Utilizzando ENVI LiDAR è possibile estrarre le curve di livello (Figura 6.57 e Figura 6.58), da cui ottenere informazioni sull'andamento del terreno.



Figura 6.57 ENVI LiDAR – contour lines from DTM

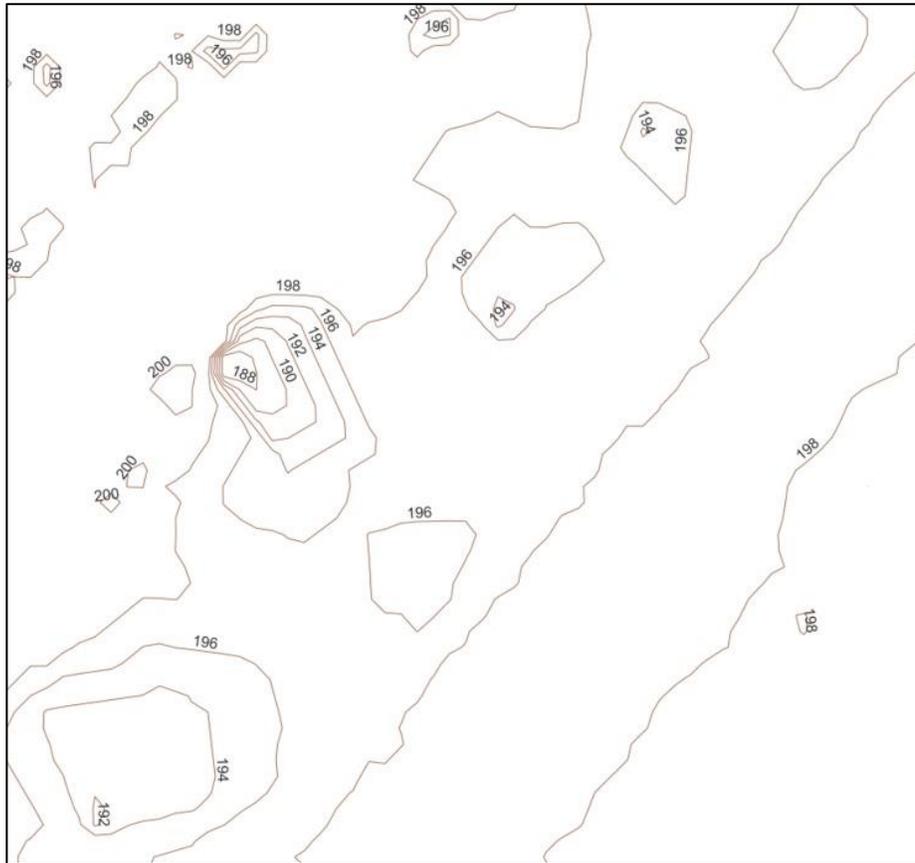


Figura 6.58 ENVI LiDAR - contour lines from DTM, dettaglio

7. Creazione del modello tridimensionale

Il modello tridimensionale digitale si riferisce a un mondo virtuale costruito a partire da dati multidimensionali del mondo reale. Poiché riflette le proprietà del reale nel virtuale, è possibile eseguire vari test di simulazione al fine di verificare la risposta a eventi potenziali. Di conseguenza, i decisori potranno disporre di soluzioni ottimali per affrontare i problemi nel mondo reale.

7.1 Mesh

Per mesh (rete) si intende un modello di superfici composte da poligoni i cui lati sono i segmenti che collegano i punti della nuvola e i vertici i punti della nuvola stessi. A differenza della nuvola di punti, che è un elemento discreto anche se denso, la mesh è infatti una superficie continua e descrive precisamente la forma delle architetture rilevate. La risoluzione sarà tanto maggiore quanto più densi sono i poligoni e dipende dalla numerosità delle facce, il cui numero è legato alla nuvola di punti che si sta utilizzando. Scegliendo la modalità Medium o High, i risultati ottenuti sono soddisfacenti sia per tempi di calcolo che interoperabilità con altri software [45]. La mesh si costruisce a partire dalla nuvola di punti, i tempi di elaborazione sono lunghi ma l'output ottenuto è di alta qualità. La mesh costruita sulla nuvola di punti obliqua è rappresentata in Figura 7.1, quella sulla nuvola nadirale in Figura 7.2 e i parametri scelti per la costruzione della mesh sono indicati in Figura 7.3.



Figura 7.1 Mesh – Oblique dense point cloud



Figura 7.2 Metashape -Mesh, Nadiral dense point cloud

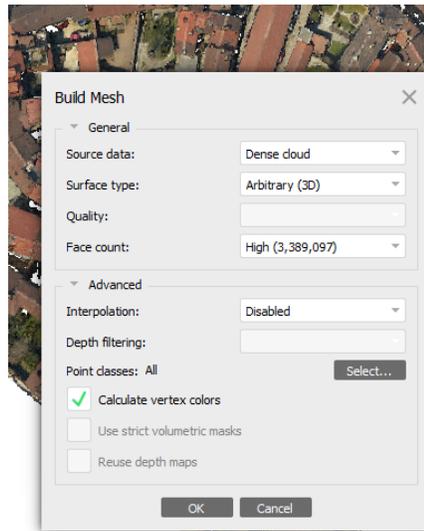


Figura 7.3 Build Mesh – Metashape

7.2 Texture

Texturizzare un modello significa applicare alla mesh un contenuto in colore. Nel caso della fotogrammetria il contenuto è fotorealistico e si ricava dalle immagini acquisite [46]. I parametri di costruzione della mesh scelti in questo lavoro sono indicati in Figura 7.4 e il risultato si riporta in Figura 7.5. Come tipo di texture si sceglie la diffuse map, ossia la texture di base che memorizza i colori della superficie del modello.

La source data è il modello 3D e la modalità di generazione della texture che si sceglie è la predefinita, che permette di parametrizzare l'atlante di texture per arbitrarie geometrie. Si imposta la superficie arbitraria, la qualità alta, l'interpolazione viene disabilitata e non si fanno infatti ipotesi sulla tipologia della scena da elaborare. e il programma tenta di creare una trama il più uniforme possibile [47]. Le proprietà del modello 3D generato si riportano in Figura 7.6.

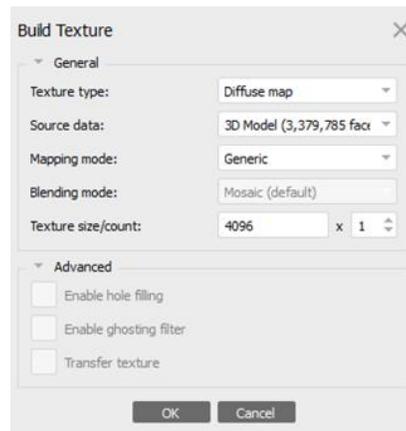


Figura 7.4 Metashape – Modello texturizzato, Nadiral dense point cloud



Figura 7.5 Metashape – Modello texturizzato, Nadiral dense point cloud

Property	Value
Model	
Faces	53,515,045
Vertices	26,779,462
Vertex colors	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Surface type	Arbitrary
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Strict volumetric masks	No
Processing time	4 hours 37 minutes
Memory usage	58.37 GB
Texturing parameters	
Mapping mode	Generic
Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096
Enable hole filling	No
Enable ghosting filter	Yes
UV mapping time	5 minutes 26 seconds
UV mapping memory usage	6.86 GB
Blending time	10 seconds
Blending memory usage	2.33 GB
Date created	2023:01:26 08:49:00
Software version	1.7.5.13229
File size	2.24 GB



faces: 53.515.045 vertices: 26.779.462

Figura 7.6 Le proprietà del modello 3D generato

Alcuni estratti del modello texturizzato sono rappresentati in Figura 7.7, Figura 7.8 e Figura 7.9.



Figura 7.7 Metashape – Modello texturizzato vista di insieme, Oblique dense point cloud



Figura 7.8 Metashape – Modello texturizzato altra vista, Oblique dense point cloud



Figura 7.9 Metashape – Modello texturizzato vista da Viale 4 Novembre, Oblique dense point cloud,

7.3 Confronti Mesh e Texture

Il confronto del modello 3D con e senza texture si riporta in Figura 7.10, Figura 7.11, Figura 7.12, Figura 7.13, Figura 7.14 e Figura 7.15.



Figura 7.10 Metashape – Mesh, Nadiral dense point cloud



Figura 7.11 Metashape – Texture, Nadiral dense point cloud



Figura 7.12 Metashape – Mesh, Nadiral dense point cloud



Figura 7.13 Metashape – Texture, Nadiral dense point cloud



Figura 7.14 Metashape – Mesh, dettaglio su un edificio



Figura 7.15 Metashape – Texture, dettaglio su un edificio

8. L'aggiornamento del piano di protezione civile

Il piano di protezione civile di Livorno Ferraris, non essendo conforme alle normative correnti, necessita di una revisione. I dati ad alta risoluzione acquisiti sul territorio possono essere impiegati nell'aggiornamento del Piano di Protezione Civile Comunale, fornendo informazioni con un grado di dettaglio finora non disponibile ma auspicabilmente accessibile in futuro. Le applicazioni definite in questo lavoro di tesi rappresentano degli approcci metodologici validi anche in altri contesti ed evidenziano la potenzialità dei dati ad alta risoluzione nell'integrazione degli strumenti di governo e gestione del territorio. L'aggiornamento del Piano deve avvenire basandosi su ricerche approfondite, sulle indicazioni previste dalle normative e analizzando gli scenari di rischio sito – specifici. A tal proposito, lo stage curricolare svolto nel comune di Livorno Ferraris nel periodo ottobre – dicembre 2022 è stato fondamentale per:

- l'inquadramento delle problematiche;
- la consultazione di documenti cartacei e allegati del piano di protezione civile e PRG non disponibili al pubblico;
- confrontarsi con il responsabile dell'ufficio tecnico e con il presidente della protezione civile locale.

I principali riferimenti normativi su cui deve fondarsi la realizzazione di un piano di protezione civile sono:

- decreto legislativo n. 1 del 2 gennaio 2018 – Codice della Protezione Civile, e successive modifiche introdotte dal d. lgs.n. 4 del 6 febbraio 2020 [48];
- direttiva del 30 aprile 2021 “Indirizzi per la predisposizione dei piani di protezione civile ai diversi livelli territoriali” e linee guida ai piani comunali di protezione civile edite dal Dipartimento della Protezione Civile [49];

- indicazioni operative per l'individuazione dei centri operativi di coordinamento e delle Aree di emergenza [50];
- delibere del Comitato Provinciale di Protezione Civile della Provincia e linee guida per l'elaborazione del piano edite dalla regione;
- il Metodo Augustus (DPC informa n. 4 maggio-giugno 1997) [51];

Secondo la direttiva del 30 aprile 2021 "Indirizzi per la predisposizione dei piani di protezione civile ai diversi livelli territoriali" il piano deve contenere:

- introduzione;
- inquadramento del territorio;
- scenari di pericolosità e di rischio individuati ai fini della pianificazione;
- modello di intervento (contenente l'organizzazione della struttura di protezione civile, gli elementi strategici e le procedure operative).

8.1 Scenari di rischio

Dalla consultazione del Piano di Protezione Civile comunale vigente e dall'analisi territoriale, si definiscono gli scenari di rischio più probabili sul territorio: rischio radiologico, meteorologico, industriale e trasporto merci pericolose.

8.1.1 Rischio radiologico, la centrale nucleare di Trino

La centrale nucleare "Enrico Fermi" di Trino è stata la prima iniziativa dell'industria nucleare italiana. Dopo tre anni dalla sua costruzione, nell'ottobre 1964 la centrale ha cominciato la produzione di energia elettrica ma, all'indomani del referendum sul nucleare del 1987, nel 1990 l'impianto è stato definitivamente disattivato. Da allora si è garantito il mantenimento in sicurezza delle strutture e degli impianti a tutela della popolazione e dell'ambiente, fino al 1999 in cui Sogin ne è divenuta proprietaria con l'obiettivo di realizzarne il decommissioning [52].

8.1.2 Rischio radiologico, l'impianto EUREX Saluggia

La costruzione dell'impianto di gestione dei rifiuti radioattivi EUREX (Enriched URanium EXtraction), entrato in funzione nel 1970, era finalizzata allo svolgimento di attività di ricerca sul riprocessamento del combustibile nucleare irraggiato. Le attività sono state interrotte nel 1984 e da allora è stato garantito il mantenimento in sicurezza delle strutture e degli impianti a tutela della popolazione e dell'ambiente. Nel 2003 Sogin ha assunto la gestione dell'impianto con l'obiettivo di realizzarne il decommissioning e, a fine 2014, è stata richiesta l'istanza di disattivazione dell'impianto ai sensi dell'art. 55 del D.lgs. n. 230/95 [53]. Il piano di protezione civile attualmente vigente non considera il rischio dovuto alla presenza dell'impianto EUREX Saluggia, ma questo interessa il 58,5 % del territorio di Livorno Ferraris, che risulta uno dei comuni più esposti (Figura 8.1).

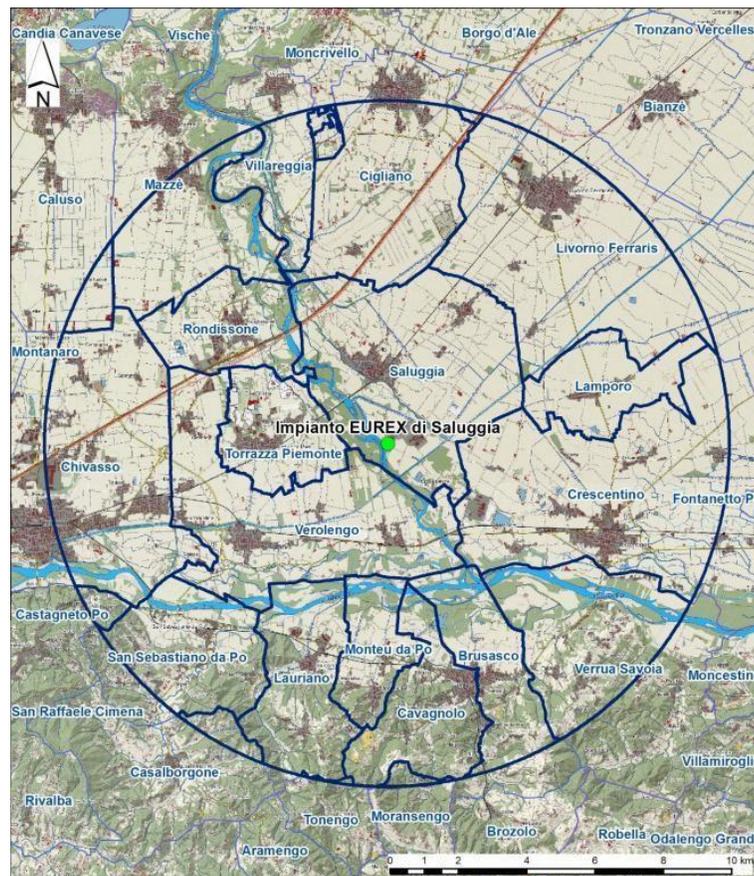


Figura 8.1 Comuni presenti nell'intorno di 10 km dal sito EUREX di Saluggia. Fonte: Piano di emergenza esterna EUREX-SO.G.I.N

8.1.2.a Piano di emergenza esterno EUREX

Il piano di emergenza esterno definisce lo scenario di incidente più gravoso su cui dimensionare la pianificazione di emergenza [54]. Questo è rappresentato dall'incendio nell'area A3 dell'edificio 2300, coinvolgente i fusti tecnologici stoccati su pallet (Figura 8.15).

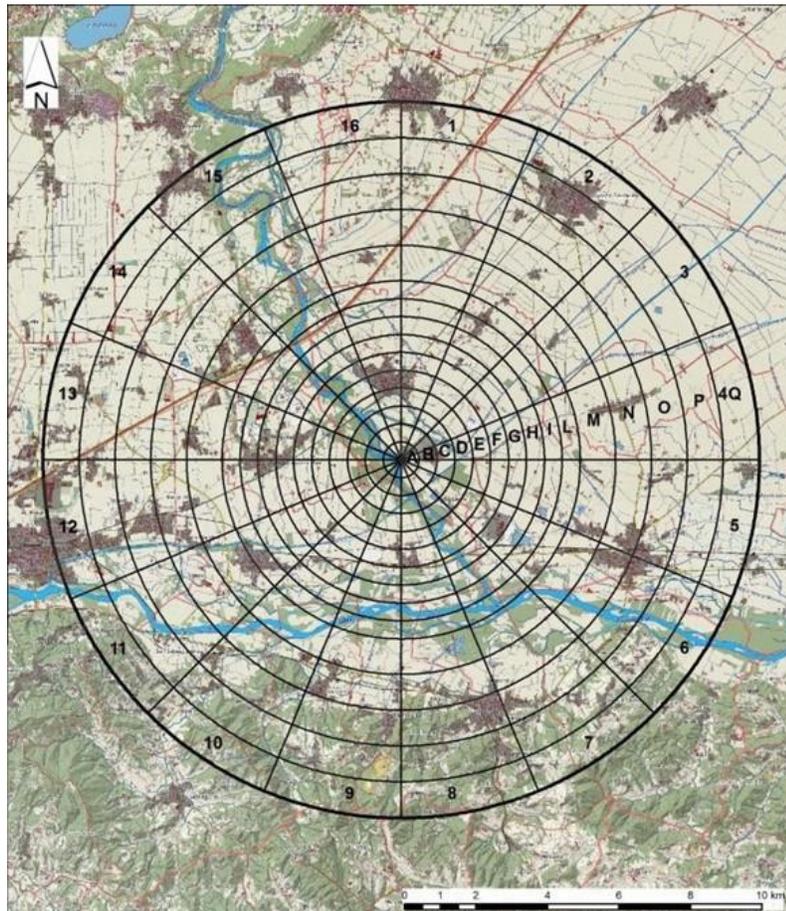


Figura 8.2 Suddivisione in Zone, Settori e Corone circolari dell'area di studio. Fonte: Piano di emergenza esterna EUREX-SO.G.I.N. Saluggia (VC)

In questo scenario è necessario:

- definire una misura protettiva di riparo al chiuso e di allontanamento delle persone in transito fino ad una distanza di 1,5 km;
- bloccare il traffico in ingresso entro la distanza di 2 km dal punto di rilascio;

- adottare eventuali provvedimenti restrittivi sulla produzione e sul consumo di alimenti di produzione locale, fino ad una distanza di almeno 6 km per i vegetali a foglia ed entro 1 km per il latte;
- definire un programma straordinario di monitoraggio radiometrico su matrici ambientali ed alimentari significative, che potrà estendersi fino ad una distanza di almeno 8 km intorno all'impianto, per caratterizzare la contaminazione eventualmente conseguente all'evento.

L'associazione di protezione civile agente sul territorio di Livorno Ferraris verrà interpellata qualora si dovesse fronteggiare questa tipologia di emergenza.

L'informazione preventiva dovrà coinvolgere la popolazione residente nel raggio di 8 km dall'impianto e sarà curata dalla Prefettura di Vercelli per i comuni rientranti nell'omonima Provincia, con il supporto di Cigliano, Crescentino, Lamporo, Livorno Ferraris, Moncrivello e Saluggia. Le informazioni alla popolazione interessata dovranno essere diffuse in maniera capillare dalle Amministrazioni Comunali tramite comunicazione diretta ai residenti interessati, pubblicazioni cartacee (opuscoli e brochures) e sui rispettivi siti internet istituzionali, nonché tramite social network.

In particolare, è necessario che la popolazione di Livorno Ferraris a rischio di essere interessata dall'emergenza radiologica sia informata e regolarmente aggiornata sulle misure di protezione sanitaria, nonché sul comportamento da adottare in caso di emergenza radiologica [55].

Infatti, in questa eventualità le autorità e gli enti responsabili degli interventi devono prevedere misure urgenti per informare, avvertire, proteggere e soccorrere la popolazione, che in alcuni casi deve obbligatoriamente rifugiarsi in casa e non recarsi nelle zone interessate dall'incidente. A particolari gruppi di popolazione, in relazione alle attività, funzioni, responsabilità e ruoli che assunti in caso di emergenza, verranno rivolte informazioni più dettagliate.

8.1.2.b Il monitoraggio di Arpa Piemonte

Arpa Piemonte pubblica i risultati del monitoraggio ordinario del comprensorio nucleare di Saluggia con periodicità annuale [56], da cui è possibile reperire le relazioni annuali, comprensive dei risultati analitici e della dose alla popolazione. Con periodicità quadrimestrale, invece, vengono pubblicate le relazioni sui risultati del monitoraggio della falda acquifera di Saluggia, in cui è possibile trovare le relazioni quadrimestrali con i risultati analitici [57].

8.1.3 Il trasporto di combustibile nucleare dal deposito Avogadro

Il deposito Avogadro è situato nel comune di Saluggia ed è stato realizzato alla fine degli anni '70 all'interno della struttura che ospitava un piccolo reattore di ricerca del tipo a piscina costruito alla fine degli anni '50. L'utilizzo successivo datogli dall'Enel è stato quello di deposito temporaneo per il combustibile irraggiato ed esaurito in attesa di trasferimento all'estero per il ritrattamento e la definitiva collocazione in un sistema di contenimento unico a livello nazionale.

Il combustibile irraggiato stoccato nella piscina è stato trasferito parzialmente a La Hague (Francia), attraverso 6 trasporti effettuati negli anni 2011 – 2013. Per completare lo svuotamento della piscina restano da trasferire in Francia gli elementi del combustibile di tipo BWR - MOX provenienti dalla centrale del Garigliano

L'ultimo trasporto di combustibile nucleare irraggiato dal deposito Avogadro venne effettuato nel 2013, verso l'impianto di La Hague, in Francia. Questo non ha prodotto un impatto radiologico significativo sull'ambiente e sulla popolazione [58].

Considerati gli elevati standard di sicurezza garantiti dalle caratteristiche di progetto dei contenitori trasportati, sono da ritenersi estremamente improbabili eventuali esposizioni radiologiche della popolazione, in relazione al materiale trasportato a seguito di un incidente.

Il contenitore rispetta i rigorosissimi criteri di qualificazione richiesti dagli standard di sicurezza internazionali. Tali requisiti di qualificazione prevedono che a

fronte di tali scenari ipotetici le prestazioni di tenuta e di schermaggio delle protezioni non possano degradarsi.

Si riportano qui gli scenari di incidente definiti dal Piano di comunicazione programma trasporti nucleari [59].

8.1.3.a Interventi di protezione previsti per incidente molto grave

Lo scenario considerato di incidente molto grave si fonda sull'ipotesi di collisione tra il mezzo di trasporto con a bordo il contenitore e un'autocisterna con liquido infiammabile, con conseguente sviluppo di incendio. È un evento improbabile in quanto nella pianificazione del trasporto nell'intervallo di tempo prescelto per il trasporto stesso è escluso il contemporaneo transito con qualsiasi tipo di treno, comprese ferro – cisterne trasportanti sostanze pericolose e/o infiammabili. Inoltre per tutto il percorso la protezione antincendio sarà assicurata da squadre di vigili del fuoco per un pronto intervento in caso di incendio o altro.

8.1.3.b Interventi di protezione previsti per incidente grave

Lo scenario considerato di incidente grave si basa sull'ipotesi di compromissione dell'ancoraggio e spostamento del contenitore, eventualmente anche fuori dal veicolo, senza incendio. Questo evento è improbabile essendo il contenitore progettato per resistere agli effetti di normali incidenti convenzionali. Per quanto riguarda il trasporto ferroviario, il piano di emergenza, in caso di incidente tale da far ipotizzare la dispersione radioattiva, definisce i seguenti provvedimenti:

- delimitazione della zona di esclusione entro un raggio di 100 metri dal luogo dell'incidente, riservata alle misure di primo soccorso, ai rilevamenti radiometrici e al controllo dell'integrità dei contenitori;
- disposizione del riparo al chiuso a tutti i residenti che vivono entro un raggio di 300 metri dal luogo dell'incidente;

- rilevamenti su matrici ambientali ed alimentari entro un raggio di circa 3 km dal luogo di rilascio a supporto delle decisioni relative ad iniziative di contenimento del consumo di alimenti di produzione locale.

Fanno eccezione eventuali ulteriori provvedimenti a salvaguardia dell'incolumità delle persone.

Essendo i materiali e le modalità di realizzazione dei contenitori tali da garantire assenza di rischio sanitario per la popolazione, non si configurano situazioni di pericolo per la popolazione per transito su strada o su ferrovia dei contenitori e loro sosta temporanea lungo il percorso

Nel caso in cui si determini la presenza di feriti potenzialmente contaminati in seguito ad un incidente nel corso del trasporto, il piano prevede che ciascun Ente attivi le rispettive procedure.

8.1.3.c Informazione alla popolazione

Se si verificasse un'emergenza radiologica la popolazione effettivamente interessata verrebbe immediatamente informata dal Sindaco, anche attraverso sistemi di megafonia mobile, d'intesa con la Prefettura, relativamente all'emergenza, ai disposizioni di protezione sanitaria adottabili e al comportamento da adottare [60].

8.1.3.d Monitoraggio dell'acqua di falda e delle acque utilizzate a scopo potabile

Dai risultati dei monitoraggi radiologici dell'acqua di falda superficiale presso il sito nucleare di Saluggia si escludono problematiche per Livorno Ferraris, in quanto il comune non utilizza queste fonti idriche, ma a scopo potabile fa uso delle captazioni riportate nella seguente figura (Figura 8.3).

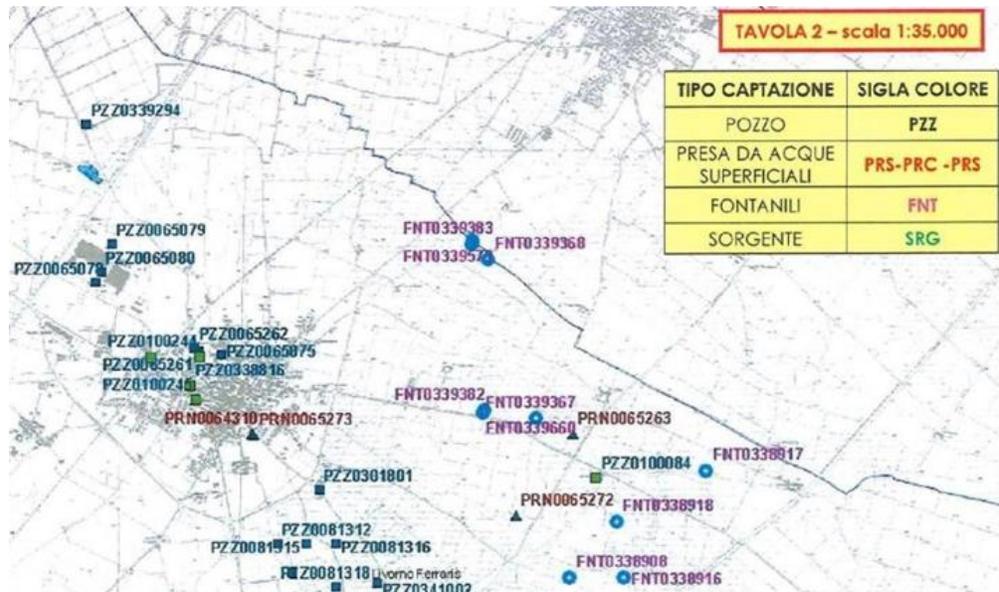


Figura 8.3 Le captazioni nel comune di Livorno Ferraris. Fonte: Ricerca geografica e alfanumerica di dati inerenti alle captazioni di acqua pubblica nei territori del Comune di Saluggia e limitrofi

8.1.4 L'impiego delle aree di emergenza di Livorno Ferraris

Anche nel caso di scenari che non coinvolgono direttamente Livorno Ferraris, il comune può supportare i centri limitrofi interessati dall'emergenza radiologica.

Infatti, disponendo di edifici e aree utilizzabili per il ricovero della popolazione, per l'ammassamento dei soccorritori e delle risorse e per la raccolta del bestiame, Livorno Ferraris potrebbe gestire eventuali persone e capi di bestiame coinvolti nell'emergenza radiologica.

8.1.5 Rischio meteorologico

La tendenza al manifestarsi di eventi di pioggia intensi e concentrati nel tempo sarà presumibilmente sempre più marcata rispetto al recente passato e al presente.

In fase di pianificazione, questa condizione porta a dover considerare gli eventi straordinari anche in contesti non soggetti storicamente a particolari condizioni meteorologiche.

La banca dati di riferimento per i fenomeni metereologici è Arpa Piemonte - Rete Monitoraggio Meteoidrografica, la quale fornisce dati meteorologici in tempo reale. I fenomeni meteorologici che vengono considerati nell'ambito del Sistema di Allertamento Regionale, attraverso il Bollettino di Vigilanza Meteorologica, sono: precipitazioni, temporali, neve, vento, nebbia, gelate [61].

Il territorio di Livorno Ferraris ricade nel distretto idrografico del Po e nella zona di allerta PIEM-I (denominazione Pianura settentrionale). La definizione delle zone di allerta, che consiste nell'individuazione di ambiti territoriali ottimali caratterizzati da una risposta meteorologica e/o idrologica omogenea in occasione dell'insorgenza del rischio, si pone alla base dell'implementazione del Sistema di Allertamento e delle altre fasi preparatorie.

8.1.5.a Eventi verificatisi

1. Evento atmosferico di forte intensità del 15 ottobre 2000 [62];
2. Il 21 gennaio 2005 si è verificato un evento atmosferico di forte intensità (raffiche di vento) che ha causato ingenti danni a beni mobili ed immobili di proprietà sia di privati che di enti pubblici [63].
3. Durante la serata del 1° agosto 2008 e nel corso della mattina del 15 agosto 2008 [64] si sono verificati degli eventi calamitosi di forte intensità (nubifragi con tromba d'aria) che hanno provocato ingenti danni a beni mobili ed immobili di proprietà sia di privati che di enti pubblici.

In sintesi gli eventi hanno provocato: sradicamento di alberi nell'abitato e sul territorio comunale, divelto delle coperture di alcune abitazioni (private e condomini) con ingenti danni alle autovetture sottostanti parcheggiate, allagamenti diffusi, abbattimento di cornicioni ed sradicamento di sostegni E.N.E.L. con conseguente pericolo di cavi in tensione abbattutisi al suolo.

Per coordinare le operazioni di ripristino è intervenuta immediatamente la squadra locale dei VV.FF., gli operatori dell'E.N.E.L. e i dipendenti del servizio tecnico.

4. Il 06/06/2009 si è verificato un evento di grandine dal diametro massimo di 8 cm, diametro medio 5 cm e durata dell'evento nel luogo di osservazione: 10 minuti. Le informazioni vengono tratte da un resoconto di un testimone oculare del danno, foto o video dell'evento; un resoconto su un sito web e un resoconto di un testimone oculare, fotografie e/o riprese video del danno inflitto [65].

8.1.5.b Forti piogge

Oggi giorno le previsioni meteorologiche hanno un buon grado di attendibilità, per cui l'abitudine di ascoltarle con attenzione, specie nei periodi autunnali e primaverili, può già di per se costituire una forma di auto protezione. Tuttavia, il compito dell'Amministrazione è informare ufficialmente i cittadini sui rischi imminenti sulla base delle previsioni meteorologiche, ad esempio attraverso gli schermi luminosi di comunicazione pubblica già esistenti nell'area urbana (Figura 8.4).



Figura 8.4 Il segnalamento luminoso per la popolazione

La popolazione deve avere fiducia in chi si sta occupando della salvaguardia prestando attenzione agli avvisi emessi attraverso altoparlanti, emittenti radio locali e canali social.

8.1.5.c Ordine di sgombero

In caso di ordine di sgombero, la popolazione dovrà recarsi nelle aree di attesa più vicine individuate dal piano di emergenza; da lì le persone saranno trasferite e temporaneamente ospitate in strutture appositamente predisposte.

8.1.5.d Punti critici e di osservazione

La tipologia di rischio in esame coinvolge tutto il territorio comunale a vario titolo. Si può, con estrema genericità, prevedere che forti piogge prolungate o temporali possano mettere in crisi la rete di smaltimento delle acque superficiali nel centro abitato e la rete irrigua del territorio comunale: vi è, dunque, la possibilità di allagamenti di interrati e di abitazioni rurali.

Nonostante il territorio di Livorno Ferraris sia in prevalenza pianeggiante è necessario individuare i box auto, i garage (Allegato Edifici, Figura 8.5) e il sottopasso di Via Milone, che possono essere esposti al rischio meteorologico. Il sottopasso (Figura 8.6, Figura 8.7 e Figura 8.8) è uno dei punti più critici, in quanto caratterizzato da un manto stradale dissestato e dall'insufficienza dei sistemi di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche. Per queste ragioni, in caso di eventi di pioggia intensa e concentrata, possono verificarsi criticità locali che trovano riscontro nelle esperienze locali e dal confronto con l'ufficio tecnico.

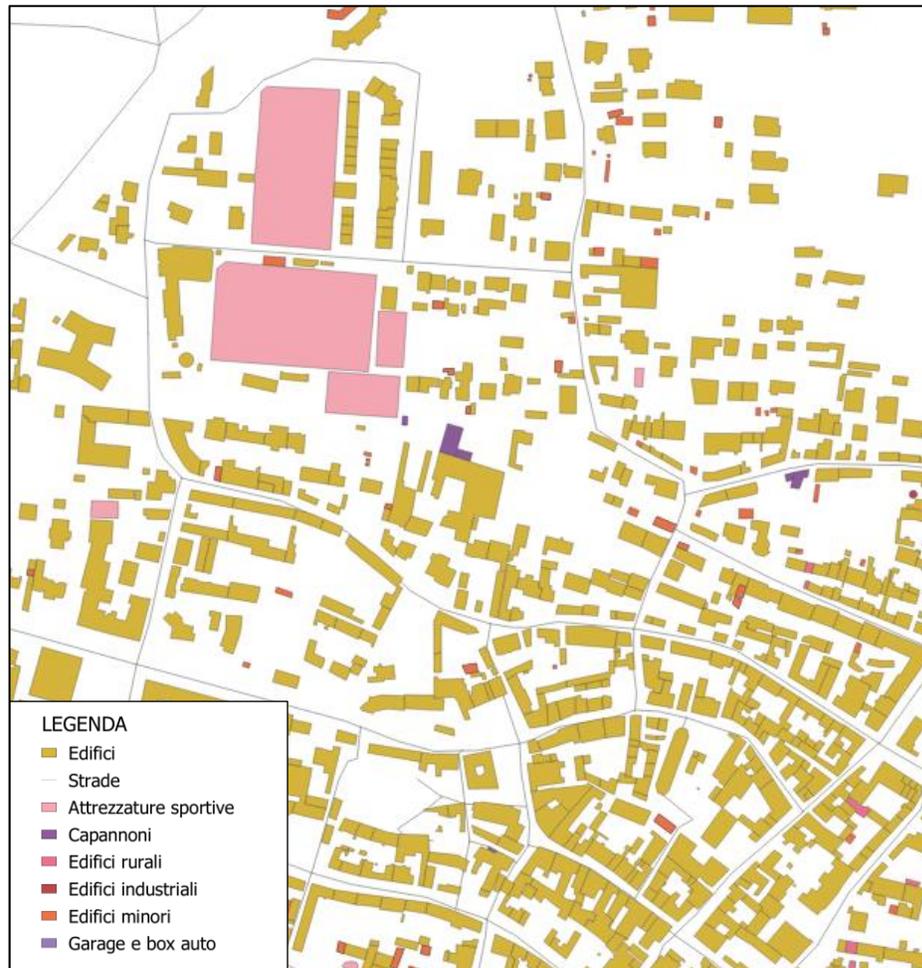


Figura 8.5 Stralcio da Allegato Edifici, scala 1:5000 Fonte SIT Livorno Ferraris



Figura 8.6 Il sottopasso di via P. Milone. [Elaborazione propria]



Figura 8.7 Il sottopasso di via P. Milone, dettaglio. [Elaborazione propria]

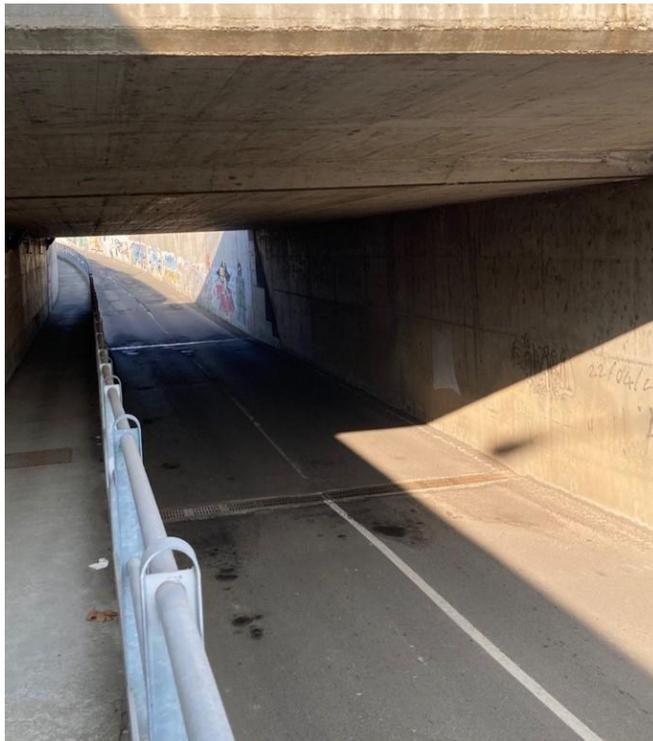


Figura 8.8 Il sottopasso di via P. Milone, dettaglio. [Elaborazione propria]

L'impiego di dati ad alta risoluzione può agevolare la pianificazione delle attività di pronto intervento in caso di calamità.

Infatti, in condizioni atmosferiche avverse, ad esempio forti piogge e vento, è necessario monitorare le alberate per il possibile distacco di rami.

8.1.6 Rischio industriale

Il rischio industriale è connesso alla probabilità che "un evento quale un'emissione, un incendio o un'esplosione di grande entità, dovuto a sviluppi incontrollati che si verificano durante l'attività di uno stabilimento" ... "dia luogo ad un pericolo grave, immediato o differito, per la salute umana e per l'ambiente, all'interno o all'esterno dello stabilimento, e in cui intervengano una o più sostanze pericolose" [66].

Consultando "l'Inventario Nazionale degli stabilimenti a rischio di incidente rilevante" predisposto dalla direzione generale per le valutazioni ed autorizzazioni, si nota l'assenza di stabilimenti a rischio rilevante che ricadono sul territorio di Livorno Ferraris [67] [68].

È necessario però aggiornare costantemente gli impianti e le attività industriali presenti, essendo il territorio sede di aree volte a tessuti per attività produttive (Figura 8.9 e Figura 8.10), che potrebbero essere soggette a rischi che non sono trascurabili. Le principali attività industriali riguardano attualmente officine metallurgiche e di automobili, la lavorazione dei metalli e la produzione di cavi di bassa tensione e di sistemi chiavi in mano di alta e altissima tensione.

Tra gli scenari possibili, si potrebbero verificare incendi che coinvolgono industrie, metanodotti o oleodotti, con la possibile creazione di fumi che potrebbero risultare tossico nocivi.

I capannoni industriali sul territorio di Livorno Ferraris si riportano nell'Allegato "Edifici".



Figura 8.9 Vista di parte dell'area produttiva dal sottopasso di via Milone

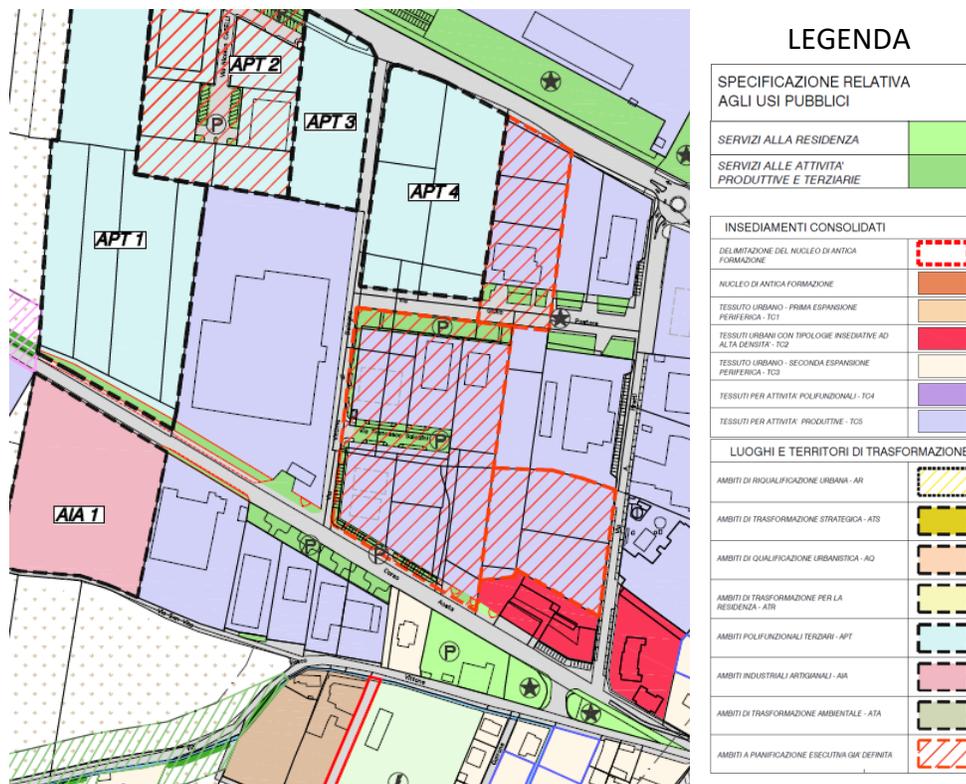


Figura 8.10 Stralcio sull'area produttiva. Fonte PRGC Livorno Ferraris, tavola: assetto urbanistico sud

8.1.6.a La centrale termoelettrica Livorno Ferraris

La centrale termoelettrica Livorno Ferraris - EP Livorno Ferraris interviene principalmente in caso di richiesta di energia elettrica supplementare rispetto a quella fornita dalla rete esistente. Possibili incidenti non attesi potrebbero manifestarsi per cui, cautelativamente, si definisce come medio il rischio connesso alla centrale termoelettrica "Galileo Ferraris", situata nella frazione di Leri Cavour del comune di Trino [69].

8.1.7 Rischio trasporto merci pericolose

Il trasporto delle merci pericolose costituisce un aspetto di particolare rilievo della più vasta questione del rischio industriale ed è strettamente connesso al rischio a vie e sistemi di trasporto. Il trasporto di merci pericolose è differente a seconda del mezzo impiegato, sia esso su strada, su ferrovia o aereo, e in generale si concentra sull'etichettatura da utilizzare per definire il tipo di merce pericolosa e la sua pericolosità.

La congestione crescente delle strutture viarie sul territorio ed il conseguente aumento della domanda di mobilità di persone e di merci rendono il rischio di incidenti, di diversa entità, uno dei fenomeni di maggior preoccupazione per gli enti che si occupano di protezione civile e prevenzione ambientale.

Dalla lettura di alcuni dati dell'ARPA [70] si possono trarre alcune considerazioni in merito alla tipologia e alla frequenza degli incidenti segnalati: gli episodi più frequenti sono ovviamente legati agli incidenti stradali, con danni generalmente relativi all'inquinamento delle acque superficiali o del suolo; si osservano eventi di elevata frequenza in coincidenza di alcuni nodi critici della rete autostradale, come il tratto della A4 Torino – Milano tra Santhià e Villarboit. Le strade interessate da un maggiore traffico veicolare sono: la SP 3, che collega Saluggia a Gattinara, la SP2, la SP7 e l'autostrada A4.

È rilevante la presenza della ferrovia per il territorio (Figura 8.11), con i collegamenti ad alta velocità (linea Torino- Milano), quelli della ferrovia storica (Torino – Milano) e delle altre linee. In caso di eventi causati da rischi naturali e antropici può essere infatti richiesto il supporto del Gruppo FS Italiane, mentre in caso di emergenze ferroviarie può essere necessario il coinvolgimento della Protezione Civile.



Figura 8.11 La stazione di Livorno Ferraris

Dai dati Istat registrati nel Piemonte, viene svolta un'analisi sul territorio di Livorno Ferraris per comprendere la presenza di criticità locali nel sistema trasportistico che possano favorire gli incidenti e quindi eventualmente interessare anche mezzi di trasporto di sostanze pericolose. Dei quattro anni analizzati si evince che in 2 si sono verificati meno di 25 incidenti/anno e che negli altri 2 anni i range sono

stati 1-39 incidenti/anno e 1-56 incidenti/anno. Da questi dati non emergono criticità che richiedono ulteriori indagini, dato che il tasso di incidentalità è nella media del territorio circostante.

8.1.8 Norme di comportamento da tenere in caso di emergenza

Le norme di comportamento da tenere in caso di emergenza sono:

- rifugiarsi al chiuso;
- prestare attenzione ai messaggi dati a mezzo altoparlanti o emittenti radiotelevisive;
- non usare il telefono se non per gravi emergenze;
- se si è in auto lasciare libere le strade ai mezzi di soccorso e seguire le indicazioni fornite dalle Forze dell'Ordine.

8.2 Gli allegati del piano

Si riportano qui le informazioni presenti attualmente negli allegati del piano vigente [71], le linee guida e le indicazioni utili al miglioramento degli stessi:

- Allegato 1: elenco degli insediamenti produttivi, in cui si identificano le aziende attraverso la denominazione, l'indirizzo, i contatti, il numero di dipendenti, la zona in cui sorgono, la presenza di una squadra interna e del piano di evacuazione, la presenza di animali di grossa taglia.
- Allegato 2: elenco degli edifici scolastici, con indicazione della denominazione e della tipologia, il numero dei docenti e non docenti, gli alunni e il piano di evacuazione.
- Allegato 3: elenco dei residenti allettati con deambulazione assistita bisognosi di cure continue.

Si suggerisce, per l'aggiornamento di questo allegato, di servirsi dell'ausilio dei medici di base, che dovranno fornire i nominativi degli allettati con deambulazione assistita bisognosi di cure continue. Si ritiene altresì fondamentale coinvolgere l'ufficio anagrafe per l'aggiornamento continuo dell'elenco, tenendo conto dei decessi e delle nuove nascite. Lo scopo è poter disporre di uno strumento che in tempo di pace aiuti la programmazione delle attività e in fase di emergenza possa supportare l'esecuzione delle attività operative. Nel comune tutti gli uffici hanno possibilità di accedere al server generale, facilitando il coordinamento e permettendo di decidere in tempi ridotti nelle attività di protezione civile.

L'elenco dovrebbe riportare il numero civico, la destinazione, il numero di nuclei famigliari, l'ID della famiglia, i componenti, il nome, il cognome, la data di nascita, il numero di occupanti, i mq semi interrati e le patologie.

- Allegato 4: elenco dei nuclei famigliari e consistenza del nucleo stesso.
- Allegato 5: Elenco dei residenti maggiori di 70 anni e minori di 5 anni.

Per poter intervenire efficacemente in fase di emergenza l'elenco dovrebbe contenere le informazioni minime previste nell'Allegato 3 e i dati sui bambini, gli anziani, i deambulanti, gli allettati e le cure.

- Allegato 6: Elenco delle strutture di primo soccorso con i recapiti dei relativi responsabili ed elenco dei luoghi ove reperire i medicinali salvavita con i recapiti dei responsabili.

Si richiede per ogni risorsa ricettiva sanitaria di specificare la denominazione, il detentore con relativo contatto telefonico ed e-mail, l'area coperta e scoperta, la capienza, il numero dei posti letto, dei servizi igienici, delle docce, degli ambulatori e dei posti mensa, le caratteristiche della cucina, gas, luce, acqua e fogna.

- Allegato 7: Elenco delle attrezzature attivabili.

- Allegato 8: Elenco dei mezzi di trasporto attivabili in emergenza con relative le caratteristiche tecniche e i detentori, siano essi Enti, Istituzioni, aziende pubbliche o private.

Si richiede per ogni mezzo di emergenza di specificare il detentore, con relativo contatto telefonico ed e-mail, i passeggeri trasportabili e la quantità.

- Allegato 9: Elenco delle risorse umane appartenenti a Enti, Istituzioni, Associazioni in grado di fornire risorse umane atte al superamento dell'emergenza

- Allegato 10: Elenco delle risorse umane utili al superamento dell'emergenza.

Le risorse umane istituzionali, le risorse umane private e i volontari devono essere identificati con nome e cognome, specializzazione, indirizzo e i riferimenti telefonici personali.

- Allegato 11: Elenco delle aree attrezzate e attrezzabili.

Si richiede per ogni risorsa ricettiva sanitaria di specificare la denominazione, il detentore con relativo contatto telefonico ed e-mail, l'area coperta e scoperta, la capienza, la presenza di gas, luce, acqua, fogna e delle docce, il numero dei posti letto, dei servizi igienici, delle cucine, degli ambulatori e dei posti mensa.

- Allegato C1 Insediamenti produttivi, Edifici pubblici, risorse idriche.
- Allegato C2 Aree di emergenza, enti, associazioni, area ammassamento (Figura 8.12).

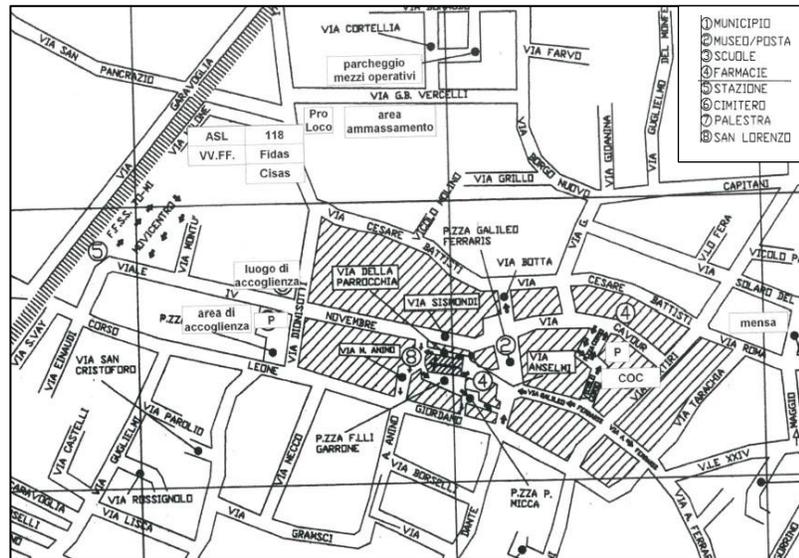


Figura 8.12: Stralcio dell'Allegato C2 "Aree di emergenza, enti, associazioni, area ammassamento". Fonte: Allegato C2 del Piano comunale di protezione civile Livorno Ferraris

- Allegato C3 Particolari area accoglienza: Pianta piano seminterrato, primo e rialzato.
- Allegato C4: Stradario con identificazione delle vie preferenziali per i mezzi di soccorso.
- Allegato C5 Frazioni e allevamenti (Figura 8.13).

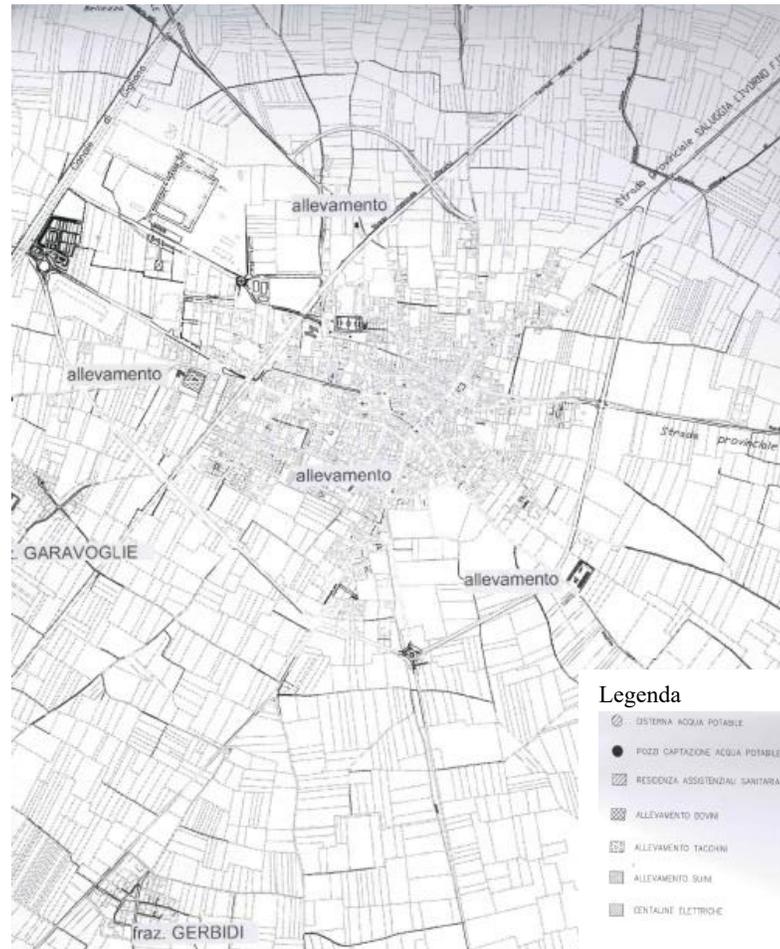


Figura 8.13: Stralcio dell' Allegato C5 frazioni e allevamenti. Fonte: Allegato C5 del Piano comunale di protezione civile Livorno Ferraris

- Allegato C6 Stradario generico.

Dalla consultazione di questi documenti e degli allegati appare necessaria un'integrazione, con le tavole:

1. Edifici: in cui si distinguono gli edifici residenziali, rurali e industriali, i capannoni, le attrezzature sportive, i garage e i box auto;
2. Popolazione: numero di edifici e popolazione residente per cella, assegnazione del dato di popolazione per edificio e per strada;

3. Fase di emergenza: in cui si indicano le vie preferenziali dei mezzi di soccorso, le aree di emergenza, i centri di assistenza, gli allevamenti, le associazioni attivabili, il COC, i parcheggi e le risorse;
4. Risorse idriche: in cui si raffigurano pozzi e sorgenti;
5. Risorse: in cui si identificano i punti sensibili (scuole, RSA, ristoranti, chiese, musei attività produttive, supermercati, risorse) che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale emergenza, le vie preferenziali dei mezzi di soccorso e i carburanti;
6. Servizi tecnologici: in cui si riportano il depuratore, le linee elettriche, la sottostazione elettrica, i quadri elettrici, i punti luce, le acque, la rete acquedottistica, la rete del metano, le caldaie, la rete fognaria, le abitazioni, le strade provinciali, comunali e le stazioni di carburante. Questa tavola è stata realizzata prendendo spunto dalle informazioni presenti sul SIT, importando gli shp file sul GIS.

In questo lavoro di tesi si è prestata particolare attenzione alla definizione delle aree di attesa, dell'area ammassamento soccorritori e risorse e dell'area di raccolta del bestiame.

8.3 Analisi della popolazione

Il comune di Livorno Ferraris è caratterizzato da una bassa densità abitativa, 71,72 ab./ km², come riscontrabile dal confronto con la media nazionale (196,1 ab/km²) e quella regionale (168,4 ab/km²) [72]. Le frazioni e i nuclei abitati del comune di Livorno Ferraris sono: Garavoglia, Gerbidi, S. Giacomo, Colombara, Castell'apertole e Mariette. Dai dati ISTAT del 2021 [73] risulta che il 12,1% della popolazione ha un'età compresa tra 0-14 anni, il 63,1% tra 15 e 64 anni e il 26,3 % supera i 65 anni. In caso di emergenza le fasce di età più soggette a rischio sono rappresentate dai bambini e dagli anziani, in quanto categorie non autosufficienti.

La rete stradale è composta da strade comunali per la viabilità all'interno del centro abitato e da strade provinciali e statali per il collegamento con i comuni confinanti.

In questo lavoro di tesi sono state svolte una serie di analisi sulla popolazione, [74]:

- Individuazione del numero di edifici per cella, fase in cui si è proceduto al download e processing di un dataset di popolazione in formato raster (Fonte: <https://www.worldpop.org>), che è stato ritagliato sul comune di Livorno Ferraris.
- Individuazione della popolazione residente per cella, calcolando la popolazione totale come somma dei pixel (tool "statistiche zonali").
- Stima della popolazione per strada, assegnando il dato di popolazione ad ogni tratto di strada. L'elaborato ottenuto consente di distinguere le strade che attraversano le diverse zone densamente popolate.
- Analisi degli edifici al fine di stimare i residenti per edificio.

L'analisi condotta, sebbene sia supportata da dati, è qualitativa in quanto basata su ipotesi. L'ipotesi semplificativa di partenza è che tutti gli edifici abbiano la stessa altezza e siano uniformemente abitati. Gli edifici vengono convertiti in punti e si va a conteggiare quanti ne ricadono in ogni cella, ottenendo così 2 colonne riportanti le seguenti informazioni:

- VALUE: popolazione residente nella cella;
- NUMPOINTS: numero di edifici presenti nella cella.

Attraverso una visualizzazione categorizzata rispetto a questi 2 parametri, si ottiene una rappresentazione qualitativa del numero di abitazioni e della popolazione residente per cella. Dal calcolatore di campi si può poi stimare il numero di residenti in

ogni edificio andando a creare un nuovo campo ottenuto dal rapporto VALUE / NUMPOINTS.

Si rappresenta la popolazione residente per cella nella Figura 8.14. Come ci si aspettava, appare evidente che la concentrazione maggiore di popolazione sia nei pressi del centro storico del paese.

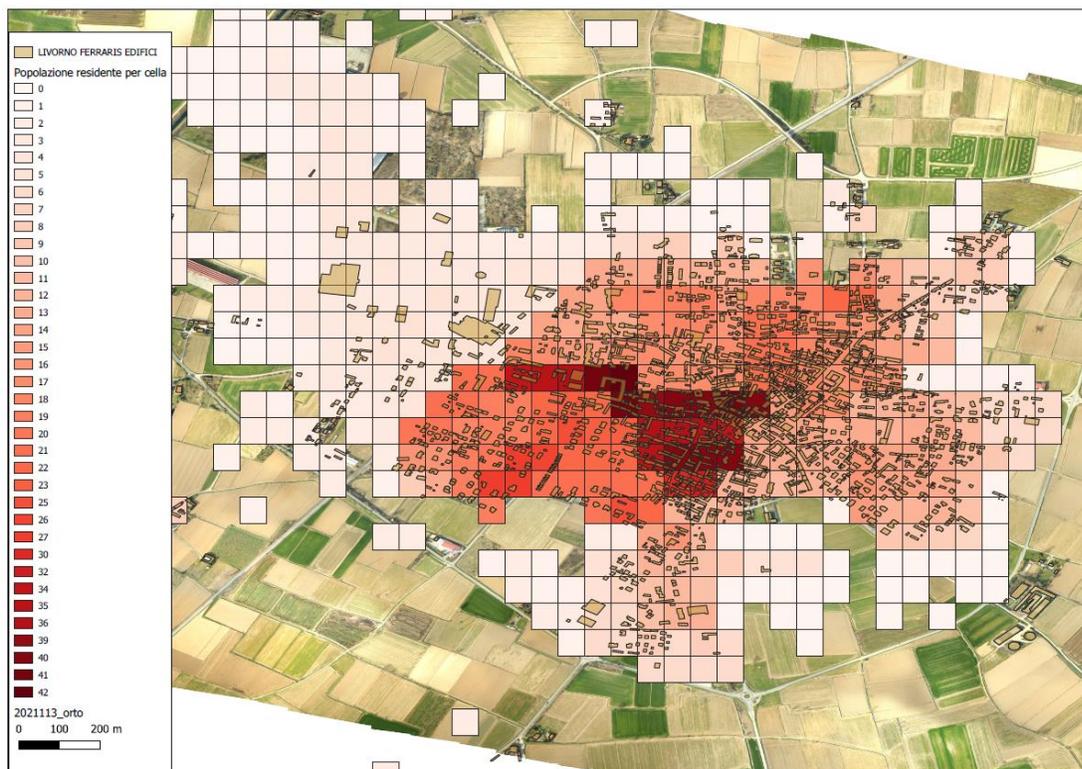


Figura 8.14 QGIS – Stralcio Allegato “Popolazione”, Popolazione residente per cella

Si riporta la popolazione presente per strada nella Figura 8.15.



Figura 8.15 QGIS – Stralcio Allegato “Popolazione”, Popolazione residente per strada

In Allegato “Popolazione” si riportano le analisi sulla popolazione rappresentate su tavole.

8.4 Le aree di emergenza

Al momento dell'emergenza, la definizione di modelli d'intervento dei livelli territoriali nelle relative pianificazioni può favorire la capacità della prima risposta locale di protezione civile. L'identificazione preventiva dei centri di coordinamento e delle aree di emergenza, assicurandone la disponibilità e l'utilizzabilità al momento dell'attivazione, favorisce un funzionamento efficiente e una rapida attivazione in caso di emergenza a diversi livelli di coordinamento [75].

Le Aree di Emergenza sono aree destinate in caso di emergenza ad uso di protezione civile. Esse devono essere preventivamente individuate nella pianificazione di emergenza e possono essere di tre tipi [76]: aree di attesa della popolazione, aree di accoglienza o di ricovero della popolazione e aree di ammassamento soccorritori e

risorse. Le aree di emergenza vanno segnalate con apposita cartellonistica, ad esempio come rappresentato in Figura 8.16, in modo che la popolazione abbia cognizione della loro posizione e possa accedervi.



Figura 8.16 QGIS – Segnalazione delle aree di emergenza. Fonte: <https://www.teknoring.com/guide/guide-sicurezza-e-ambiente/piani-emergenza-comunale-protezione-civile/>

8.4.1 Le aree di attesa della popolazione

Le aree di attesa della popolazione sono luoghi di primo ritrovo in cui la popolazione deve dirigersi subito dopo l'evento, in attesa dell'allestimento delle aree di ricovero [77]. Come punto di raccolta (Figura 8.17) possono essere utilizzate piazze, slarghi, parcheggi, spazi pubblici o privati non soggetti a rischio (frane, alluvioni, crollo di strutture attigue, ecc.), raggiungibili attraverso un percorso pedonale, accessibile anche ai diversamente abili. Il numero e la grandezza delle aree da scegliere dipende dalla capacità delle strutture esistenti e dal numero di abitanti. In questi luoghi la popolazione riceverà le prime informazioni sull'evento e generi di conforto. Queste aree servono per periodi di tempo che variano da poche ore a pochi giorni.



Figura 8.17 Esempio di segnalazione delle aree di attesa. Fonte: <https://www.comune.perugia.it/pagine/aree-di-emergenza>

Oltre alle informazioni fornite dal precedente piano di protezione civile, per la definizione delle aree di attesa sono stati impiegati i prodotti del rilievo ad alta risoluzione (ortofoto, modello 3D, profili) e l'analisi della popolazione. Infatti, dall'ortofoto è possibile misurare gli spazi a disposizione e le dimensioni delle strade, definendo le vie di accesso idonee alle funzioni definite (Allegato "Fase di emergenza"). È necessario in fase di emergenza lasciare libere le vie di comunicazione principali limitrofe alle aree di attesa e informare la popolazione su quali siano le aree di emergenza previste sul territorio, segnalandole attraverso apposita cartellonistica.

Le aree individuate sono Piazza Possis e Piazza Galileo Ferraris. Le superfici delle aree, calcolate attraverso QGis, si riportano in Tabella 4.

Tabella 4: Superfici delle aree di attesa

AREA DI ATTESA	AREA [m2]
Area attesa 1	1947
Area attesa 2	1299

8.4.1.a Definizione delle aree di attesa – Piazza Possis

Il piano di protezione civile vigente individua già Piazza Possis (Figura 8.18 e Figura 8.19) come area di attesa della popolazione.



Figura 8.18 Piazza Possis, accesso all'area. [Elaborazione propria]



Figura 8.19 Piazza Possis, altra vista. [Elaborazione propria]

Gli accessi a Piazza Possis si riportano in Figura 8.20 e Figura 8.21, mentre in Figura 8.22 si rappresenta Viale IV Novembre, che rappresenta la via principale di accesso all'area.



Figura 8.20 Piazza Possis, altro accesso all'area. [Elaborazione propria]



Figura 8.21 Piazza Possis, accesso all'area. [Elaborazione propria]



Figura 8.22 Piazza Possis, accesso all'area da Viale IV Novembre. [Elaborazione propria]

La rappresentazione di Piazza Possis nell'ortofoto si riporta in Figura 8.23.



Figura 8.23 Area di attesa Piazza Possis, scala 1:1000. [Elaborazione propria]

Dopo opportune verifiche e misurazioni, si può affermare che le 2 aree risultino idonee agli scopi previsti. Infatti, dall'ortofoto avente risoluzione di 3,87 cm/pix è possibile misurare la larghezza minima delle strade adibite al transito dei mezzi operativi e che collegano le aree di emergenza. Essendo pari a circa 5,30 m (Figura 8.24), le aree sono facilmente raggiungibili dagli evacuati e dai mezzi di soccorso. Inoltre, non sono evidenti ostacoli barriere architettoniche che renderebbero difficile la movimentazione dei disabili.

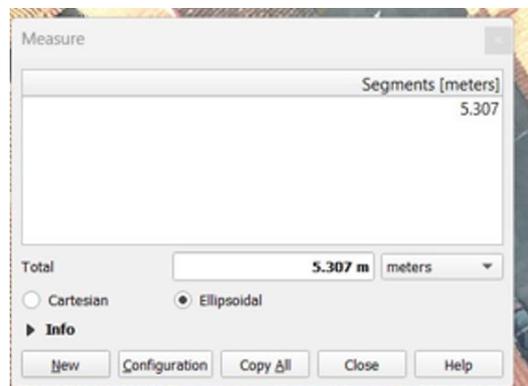


Figura 8.24 QGIS – La misurazione della larghezza minima della strada percorsa dai mezzi operativi

Analizzando la distribuzione della popolazione per cella e per strada si ritiene che Piazza Possis sia idoneo a ospitare la popolazione in emergenza (Figura 8.25).

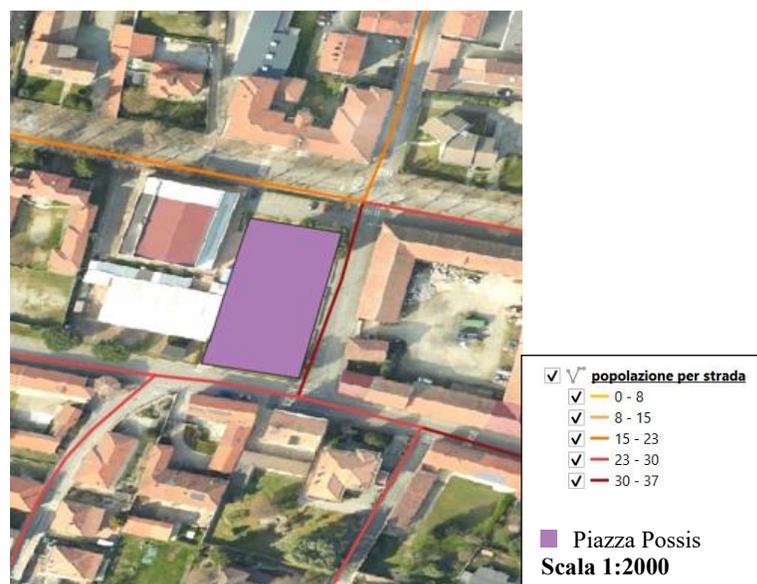


Figura 8.25 Popolazione per strada prossima all'area di attesa Piazza Possis, scala 1:2000

L'area di attesa risulta prossima alle reti del metanodotto e del gasdotto, ai servizi acquedottistici ed elettrici (Figura 8.26).

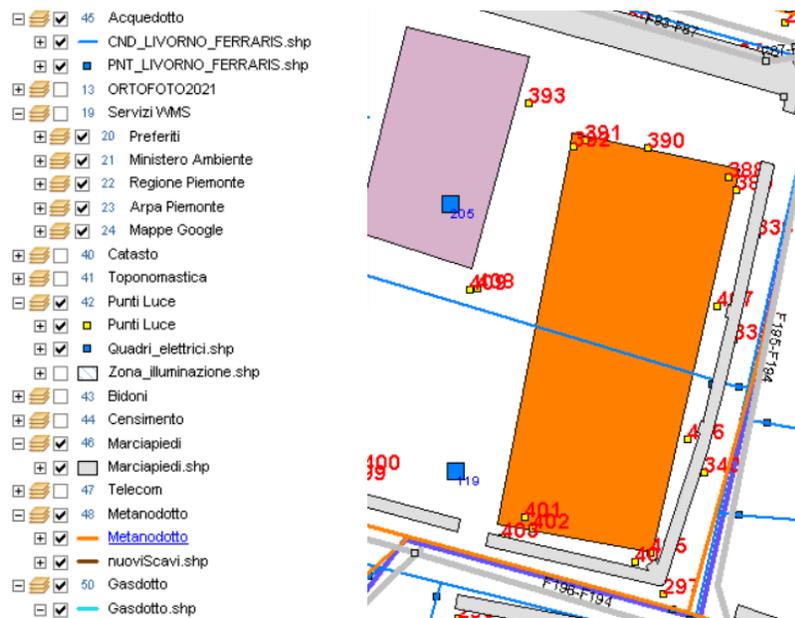


Figura 8.26 GisMaster – I servizi tecnologici nell'intorno dell'area di attesa Piazza Possis

Come mostrato in Figura 8.27, Figura 8.28 e Figura 8.29 sono presenti in prossimità di Piazza Possis: un aspiratore, utilizzato attualmente per il Palatenda, una cabina elettrica, una cabina del metano e delle tubazioni acquedottistiche.



Figura 8.27 La cabina del metano prossima all'area di attesa Piazza Possis [Elaborazione propria]



Figura 8.28 La cabina elettrica prossima all'area di attesa Piazza Possis (a); le tubazioni (b).
[Elaborazione propria]



Figura 8.29 L'aspiratore utilizzato nel Palatenda [Elaborazione propria]

Potendo percepire le dimensioni degli oggetti che ci circondano, attraverso la mesh si può valutare quali spazi sul territorio possano essere utilizzati come aree di attesa per la popolazione. La mesh con focus sull'area di attesa Piazza Possis si riporta in Figura 8.30 e Figura 8.31, mentre in Figura 8.32 si rappresenta la mesh dell'area di attesa da Viale 4 Novembre. Dal modello 3D si ha la conferma dell'assenza di ostacoli nell'intorno dell'area di attesa e della centralità della stessa.



Figura 8.30 Metashape - Modello Texturizzato su Piazza Possis. Nadiral dense point cloud



Figura 8.31 Metashape - Modello Texturizzato, Area di attesa Piazza Possis vista da Viale 4 Novembre. Nadiral dense point cloud



Figura 8.32 Metashape - Modello Texturizzato Area di attesa Piazza Possis, vista da Viale 4 Novembre. Nadiral dense point cloud

A partire dalla nuvola di punti è possibile effettuare delle sezioni, ad esempio tramite il software Analyst [78], in cui una volta importata la nuvola di punti si generano le sezioni. La sezione dell'area di attesa Possis si riporta in Figura 8.33 e Figura 8.34.



Figura 8.33 Analyst – La sezione scelta dell'area di attesa Piazza Possis Scala 1:500

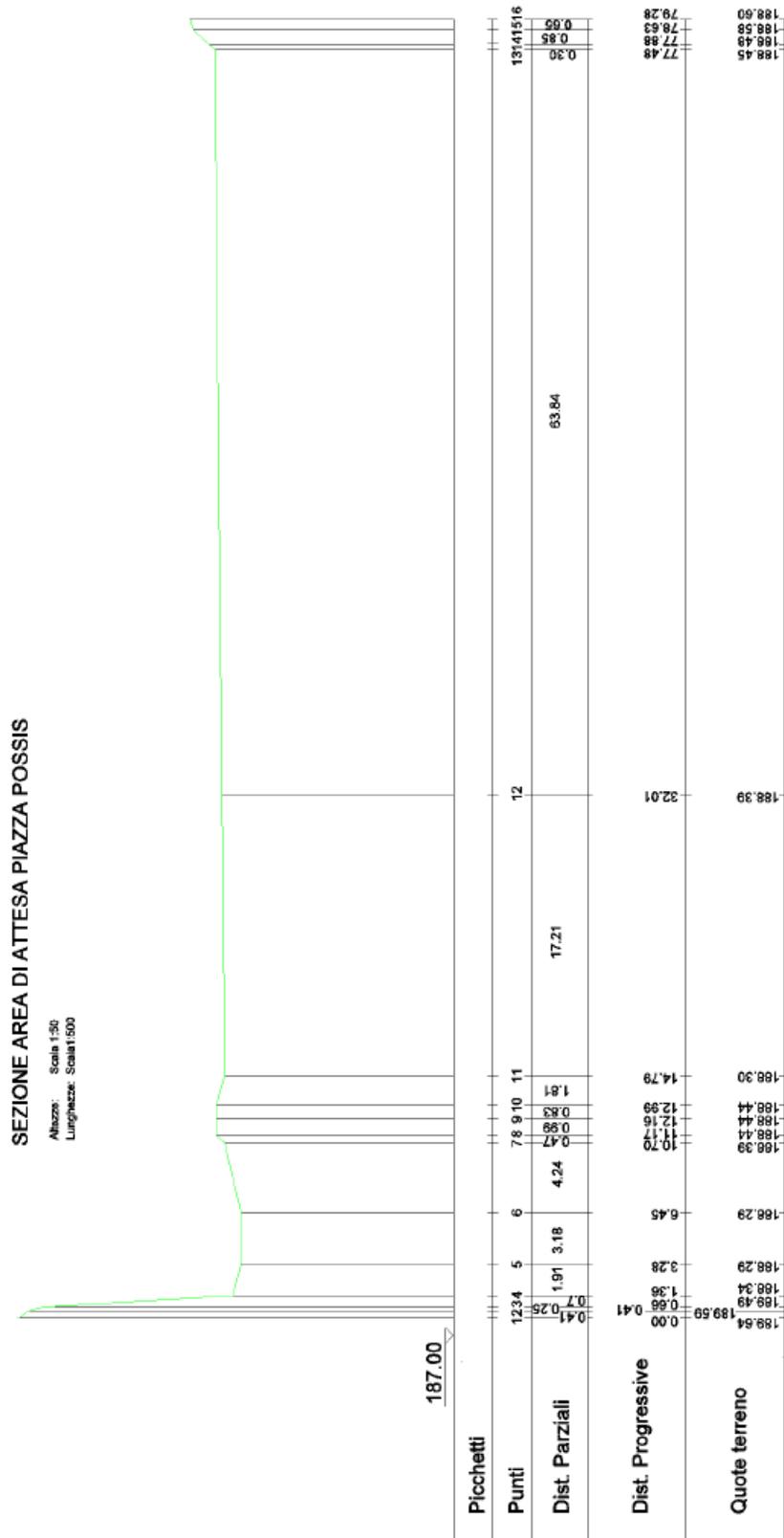


Figura 8.34 Analist – La sezione scelta dell'area di attesa Piazza Possis sulla nuvola di punti. Scala 1:500

Potendo effettuare delle sezioni sulla nuvola di punti, si riesce a comprendere se sono presenti ostacoli e se ci sono pendenze eccessive nelle aree di attesa.

8.4.1.b Definizione delle aree di attesa – Piazza Galileo Ferraris

Analizzando il contesto territoriale e la distribuzione della popolazione nel territorio si ritiene però necessaria l'individuazione di un altro punto di raccolta, ovvero Piazza Galileo Ferraris (Figura 8.35, Figura 8.36 e Figura 8.37).



Figura 8.35 Piazza Galileo Ferraris, vista sul museo Galileo Ferraris. [Elaborazione propria]



Figura 8.36 Piazza Galileo Ferraris. [Elaborazione propria]



Figura 8.37 Piazza Galileo Ferraris, l'accesso da Viale 4 Novembre. [Elaborazione propria]

La rappresentazione di Piazza Galileo Ferraris nell'ortofoto si riporta invece in Figura 8.38. Le vie di comunicazione da lasciare libere sono: via Cavour – via Sismondi, via Parrocchia – via G. Ferraris.



Figura 8.38 QGIS - Area di attesa Galileo Ferraris, scala 1:1000

Analizzando la distribuzione di popolazione per cella e per strada si ritiene che, in caso di emergenza, Piazza Possis sia idonea a ospitare la popolazione (Figura 8.39).

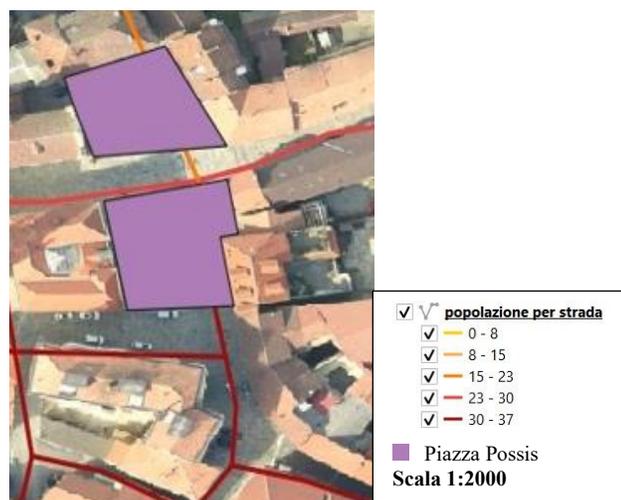


Figura 8.39 QGIS - Popolazione per strada prossima all'area di attesa Galileo Ferraris, scala 1:1000

La sezione dell'area di attesa G. Ferraris si riporta in Figura 8.40 e Figura 8.41



Figura 8.40 Analist - Area di attesa Galileo Ferraris, scala 1:500

SEZIONE Piazza Galileo Ferraris

Altezza: 1:50
Lunghezza: 1:500

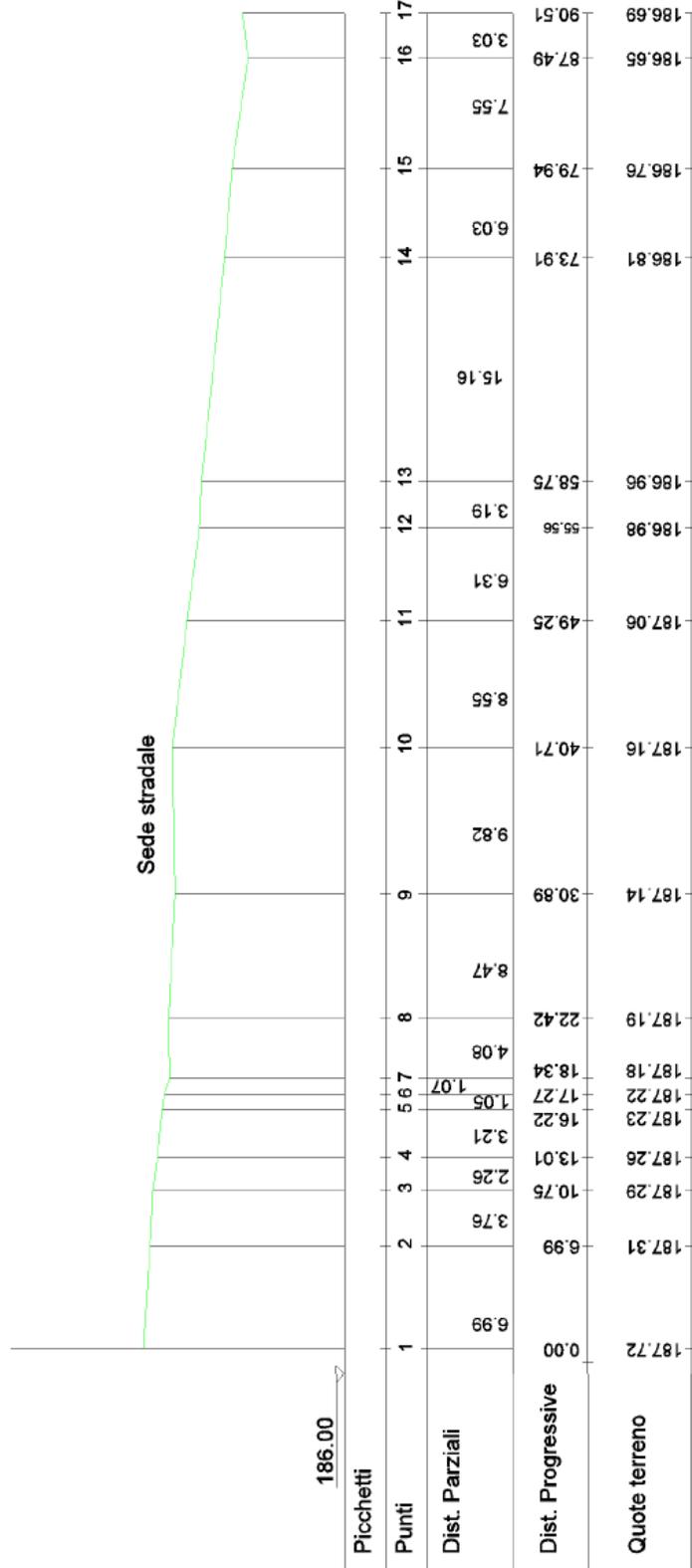


Figura 8.41 QGIS - Area di attesa Galileo Ferraris

L'area di attesa risulta prossima alle reti del metanodotto e del gasdotto, ai servizi acquedottistici ed elettrici (Figura 8.42).



Figura 8.42 GisMaster – I servizi tecnologici nell'intorno dell'area di attesa Piazza Possis

In Figura 8.43 si riporta la mesh di entrambe le aree di attesa con le vie di accesso, che conferma l'assenza di ostacoli nell'intorno delle aree.



Figura 8.43 Mesh Aree di attesa Galileo Ferraris e Piazza Possis, Nadiral dense point cloud

L'area di attesa Galileo Ferraris vista dal modello texturizzato si riporta in Figura 8.44, Figura 8.45 e Figura 8.46.



Figura 8.44 Metashape - Modello Texturizzato Area di emergenza Galileo Ferraris, vista dalle vie di accesso. Oblique dense point cloud



Figura 8.45 Metashape - Modello Texturizzato Area di emergenza Galileo Ferraris. Oblique dense point cloud Texture



Figura 8.46 Metashape - Modello Texturizzato Area di attesa Galileo Ferraris, Oblique dense point cloud,

8.4.2 L'area di ammassamento soccorritori e risorse

Le aree di ammassamento soccorritori e risorse [79] sono luoghi posti in zone sicure rispetto alle diverse tipologie di rischio dove dovranno trovare sistemazione idonea i soccorritori e le risorse necessarie nelle zone di emergenza. Tali aree dovranno essere ubicate nelle vicinanze di risorse idriche, elettriche e con possibilità di smaltimento delle acque reflue. Queste aree devono essere facilmente raggiungibili tramite percorsi sicuri, anche con mezzi operativi di grandi dimensioni. Il periodo di permanenza in esse è compreso tra poche settimane e qualche mese.

Le aree di ammassamento soccorritori scelte sono 2 campi vicini al campo sportivo "G. Bigandò", mentre le risorse potranno essere posizionate e stoccate in degli stabili prossimi a queste aree (Figura 8.47). Le aree di ammassamento dei soccorritori

risorse sono prossime ai più indispensabili servizi tecnologici quali risorse idriche, elettriche, gasdotto, reti del metanodotto e fognarie (Figura 8.48).

8.4.3 Il campo base dei Vigili del fuoco

I Vigili del fuoco prevedono, nei comuni aventi un ruolo centrale nel proprio circondario in caso di emergenza, delle aree da adibire a campo base, dove viene dislocato il nucleo regionale. Queste aree devono essere prossime ai servizi tecnologici quali risorse idriche, elettriche, gasdotto, reti del metanodotto e fognarie ed è necessario che ogni comune conosca quali aree vengono individuate con tale finalità, per indicarle nel Piano di Protezione civile comunale e assicurare che siano disponibili e libere in un eventuale emergenza. Il comune di Livorno Ferraris è sede di un campo base provinciale che viene individuato presso il campo sportivo "G. Bigandò" (Figura 8.47).

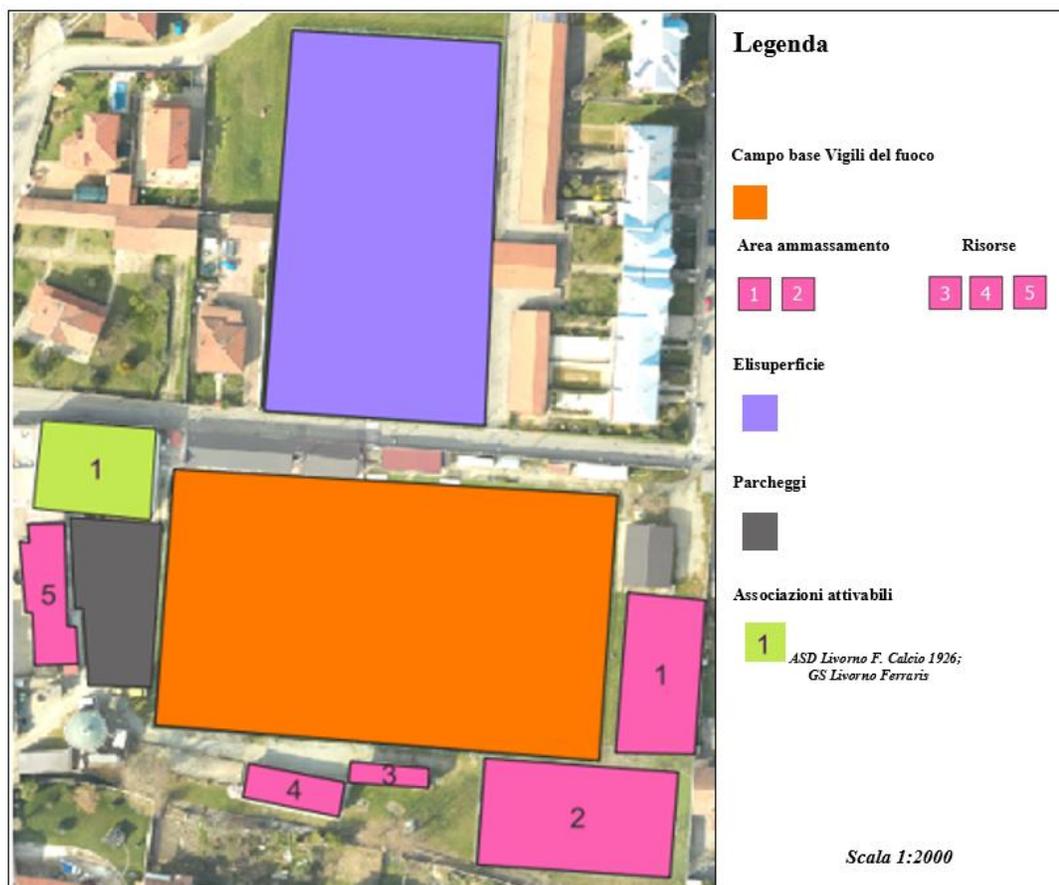


Figura 8.47 QGIS – L'area di ammassamento soccorritori – risorse e il campo base dei Vigili del fuoco.

Dai confronti avvenuti con il Comandante Provinciale e con i Vigili del fuoco di Vercelli si riscontra che la scelta di definire un campo base a Livorno Ferraris sia legata alla:

- presenza nel comune di un'ampia zona industriale che potrebbe andare in crisi in caso di emergenza;
- centralità del comune in caso di emergenza radiologica nel territorio circostante o emergenza alluvionale a Trino.

Lo stadio "G. Bigandò" si ritiene idoneo a svolgere la funzione di campo base [80] del nucleo regionale, condizione in genere valida per tutti i campi sportivi, essendo un luogo:

- caratterizzato da dimensioni sufficienti e standardizzate, con possibilità di effettuare misurazioni degli spazi dall'ortofoto, in maniera veloce e accurata;
- dalla forma regolare e avente capacità di drenaggio;
- collegato alle reti idriche, elettriche e fognarie, come mostrato in Figura 8.48, Figura 8.49, Figura 8.50, Figura 8.51 e Figura 8.52;
- caratterizzato da vie di accesso comode, le cui dimensioni sono misurabili dall'ortofoto e di cui si possono essere visualizzati dal modello 3D dei dettagli e delle viste non ottenibili altrimenti da Street view;
- con presenza di aree adiacenti come parcheggi, che sono stati individuati in questo lavoro di tesi, per un'eventuale espansione del campo;
- con idoneo deflusso di emergenza e che può essere recintato, con pannelli di rete metallica di altezza minima di 2 m.
- in cui l'ingresso carrabile per mezzi di servizio può essere separato da quello pedonale;

- in cui le uscite di sicurezza possono essere almeno una per ogni lato della recinzione.

Naturalmente il requisito fondamentale è che il campo base sia localizzato in una zona sicura.

Dalle immagini di Street view, non aggiornate o assenti in parte nella zona prossima al campo sportivo, non si riescono a visualizzare tutte le vie di accesso presenti. L'aver generato un ortofoto ad alta risoluzione è quindi fondamentale per condurre analisi territoriali accurate in cui i pixels possano essere distinti in maniera immediata. Il campo potrà essere utilizzato anche per le finalità di protezione civile, ovvero come area di ammassamento soccorritori-risorse o di ricovero della popolazione, qualora l'emergenza in atto non richieda la definizione del campo base dei vigili del fuoco.

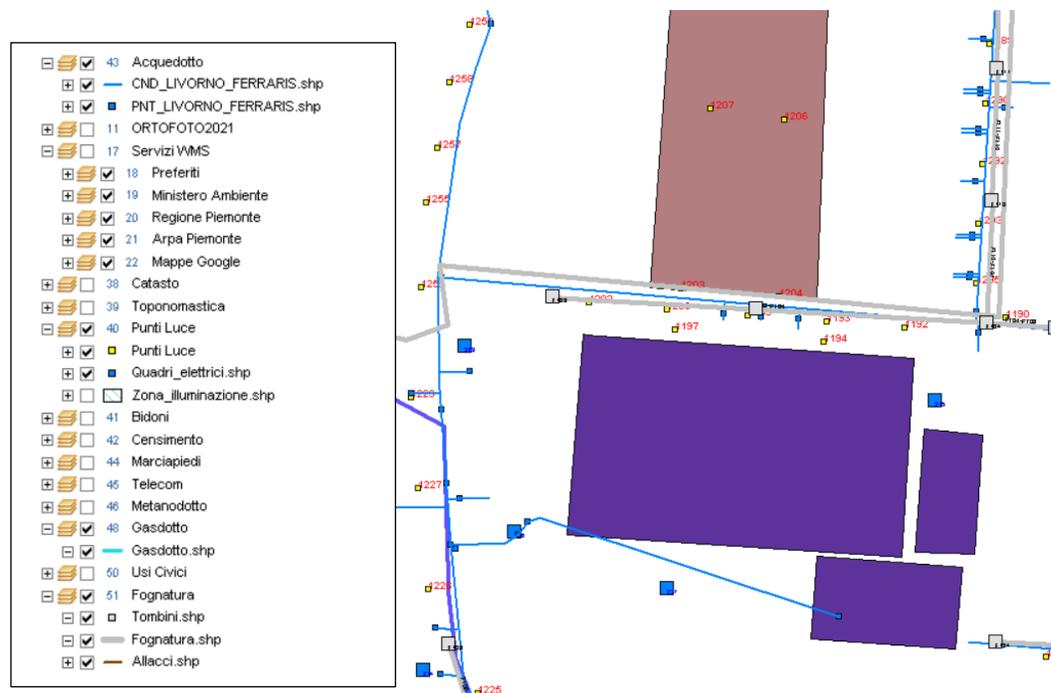


Figura 8.48 GisMaster – I servizi tecnologici nell'intorno dell'area di ammassamento soccorritori - risorse e del campo base Vigili del fuoco

Dal GisMaster è possibile ottenere delle informazioni dettagliate sulla rete elettrica (Figura 8.49), sulla rete fognaria (Figura 8.50) e sulla rete acquedottistica, ottenendo in particolare l'indicazione del diametro delle tubazioni e dell'ubicazione degli allacci e delle saracinesche (Figura 8.51 e Figura 8.52).

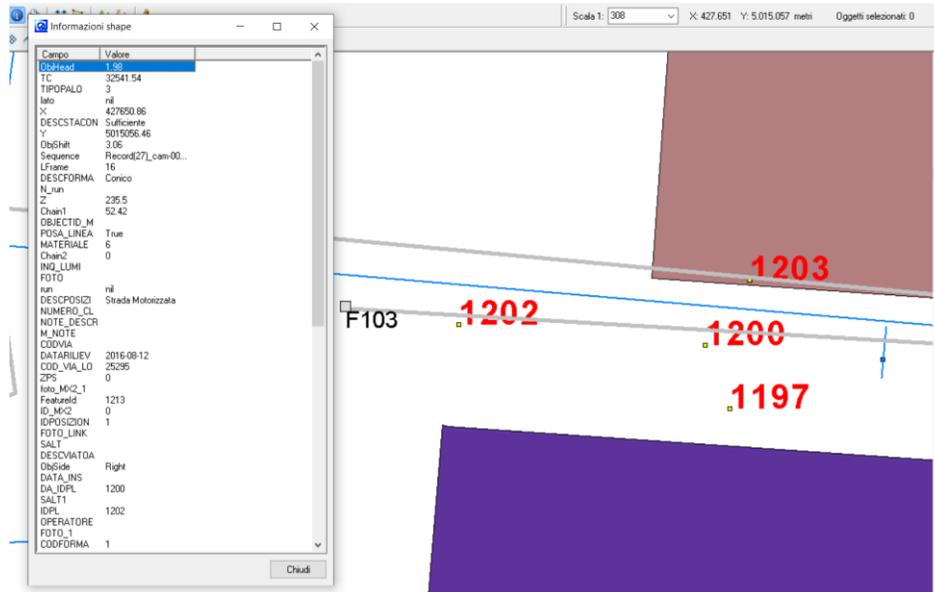


Figura 8.49 I pali della luce prossimi alle aree di ammassamento soccorritori – risorse e alle aree di dislocazione dei Vigili del fuoco

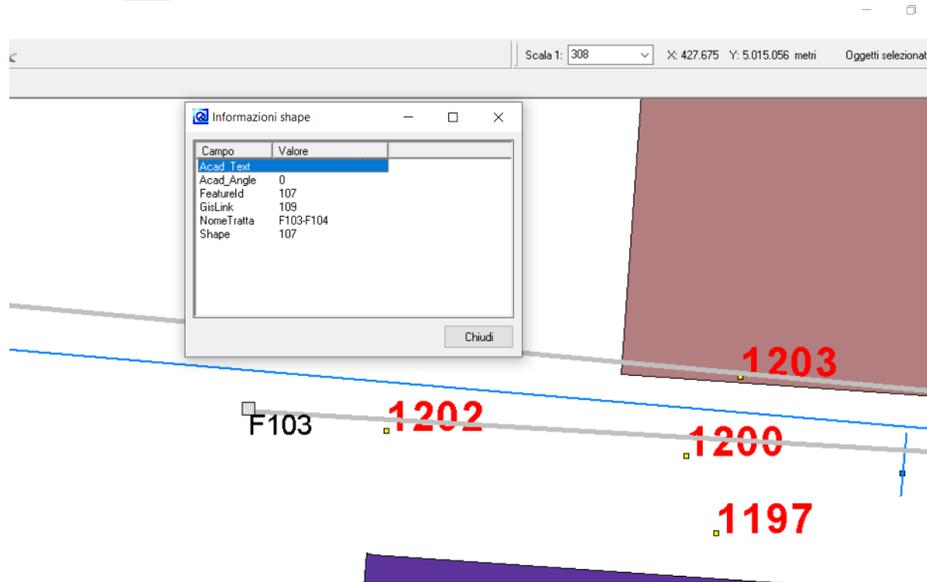


Figura 8.50 La rete fognaria prossima alle aree di ammassamento soccorritori – risorse e al campo base dei Vigili del fuoco

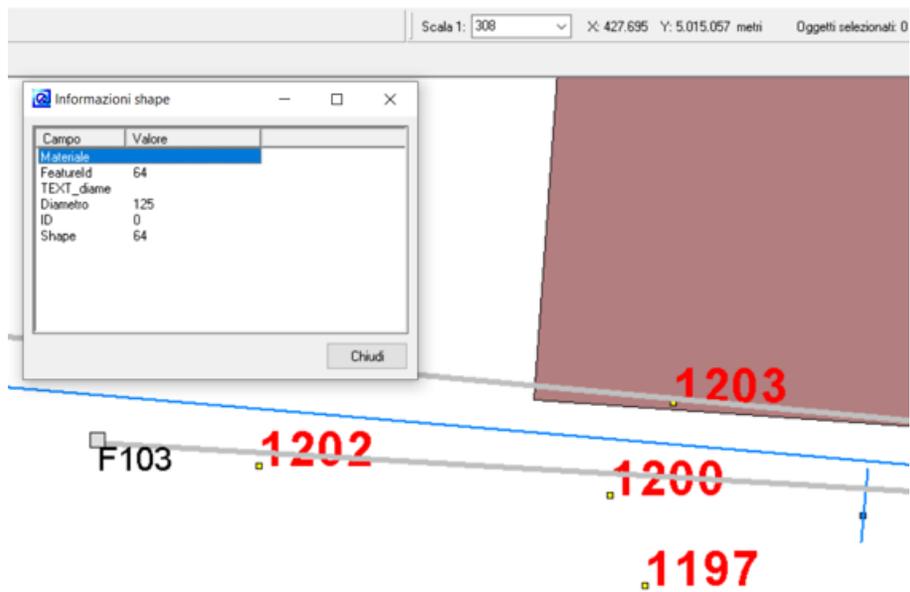


Figura 8.51 GisMaster – Le informazioni estraibili dall'acquedotto

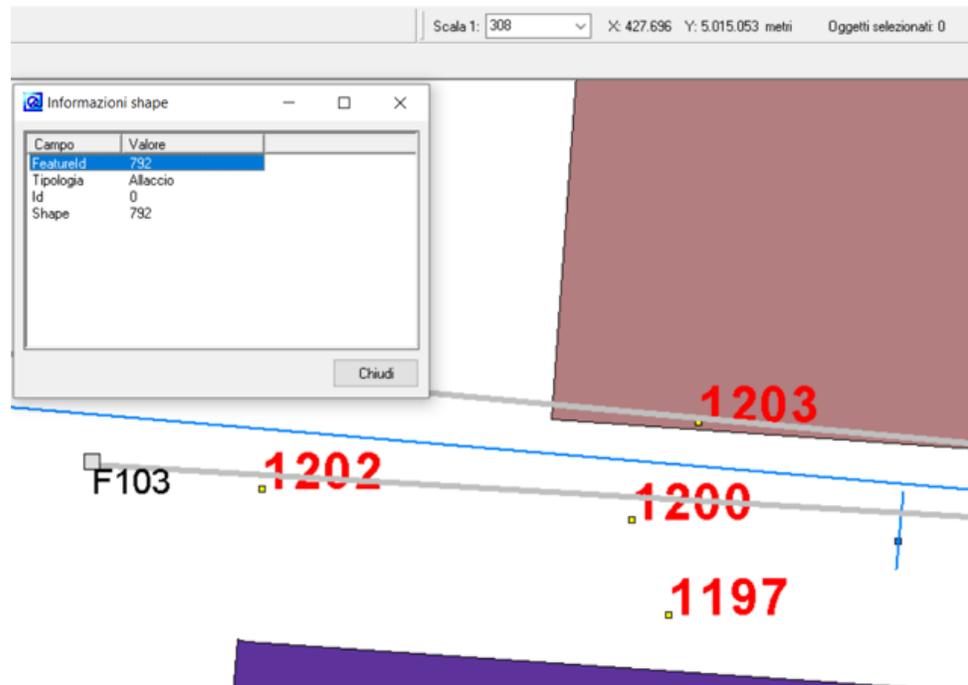


Figura 8.52 GisMaster – Gli allacci dell'acquedotto

I pozzi presenti a ridosso di queste aree si riportano in Figura 8.53.



Figura 8.53 I pozzi presenti a ridosso dell'area di accoglienza o ricovero. Fonte: Comune di Livorno Ferraris - Relazione idrogeologica, definizione aree salvaguardia dei pozzi acquedottistici.

Il modello texturizzato con focus sull'area di area di ammassamento soccorritori e risorse si riporta in Figura 8.54 e in Figura 8.55, dove sono evidenti anche le aree di parcheggio utilizzabili per i mezzi.



Figura 8.54 Metashape – Modello texturizzato Area di ammassamento soccorritori-risorse e campo base Vigili del fuoco, Nadiral dense point cloud



Figura 8.55 Metashape – Modello texturizzato Area di ammassamento soccorritori-risorse e campo base Vigili del fuoco. Nadiral dense point cloud

8.4.4 L'area di accoglienza o di ricovero

Le aree di accoglienza o di ricovero della popolazione sono i luoghi in cui saranno installati i primi insediamenti abitativi o le strutture in cui alloggiare la popolazione colpita. Questi luoghi sono designati come aree sicure per diversi tipi di rischio, possono essere anche strutture ricettive e si trovano nelle vicinanze di risorse idriche, elettriche e fognarie [81]. Dovranno essere facilmente raggiungibili anche da mezzi di grandi dimensioni per consentirne l'allestimento e la gestione. L'area di accoglienza o di ricovero ritenute idonee si individuano in prossimità dei servizi

acquedottistici ed elettrici, delle reti del metanodotto e del gasdotto. I centri di assistenza che possono fornire risorse alla popolazione sono riportati in Tabella 5.

Tabella 5: I centri di assistenza

Tipologia	Risorse
Istituto comprensivo Galileo Ferraris	Cucina, mensa, WC, palestra
palestra	4 servizi igienici, 4 docce, 1 ambulatorio
scuola materna statale	220 posti mensa
pizzeria Sorrento	30 posti mensa
ristorante Taverna del Borgo	85 posti mensa
ristorante Balin	60 posti mensa
ristorante La Colombara	150 posti mensa

8.4.5 *L'area di raccolta del bestiame*

Nel caso si rendesse necessario evacuare dei capi di bestiame è stata individuata un'area di raccolta degli stessi, adiacente a via Vaccolo e via Conti della Rocchetta e posta immediatamente a Nord del cimitero comunale (Figura 8.56 e Figura 8.57).



Figura 8.56 L'area prevista per la raccolta del bestiame. [Elaborazione propria]



Figura 8.57 L'area prevista per la raccolta del bestiame, vista del canale. [Elaborazione propria]



Figura 8.58 GisMaster – I servizi prossimi all'area di raccolta del bestiame

L'allaccio alla rete del consorzio irriguo comunale, gestito dal Distretto Ovest Sesia [82] si riporta in Figura 8.59 e in Figura 8.60.



Figura 8.59 Allaccio all'acqua per l'area prevista a raccolta del bestiame. [Elaborazione propria]



Figura 8.60 Vista del canale e dell'allaccio all'acqua per l'area prevista alla raccolta del bestiame. [Elaborazione propria]

L'area di raccolta del bestiame, da delimitare, si riporta nell'ortofoto in Figura 8.61. L'area individuata non necessariamente deve coincidere con l'estensione qui riportata, potendo essere richiesta anche soltanto una parte dell'area.



Figura 8.61 QGIS – Rappresentazione dell'area di raccolta del bestiame su base ortofoto, scala 1:1000

L'area ricade nella fascia di rispetto dell'area cimiteriale (Figura 8.62), dunque può essere usata per gli scopi previsti, non essendo edificabile.

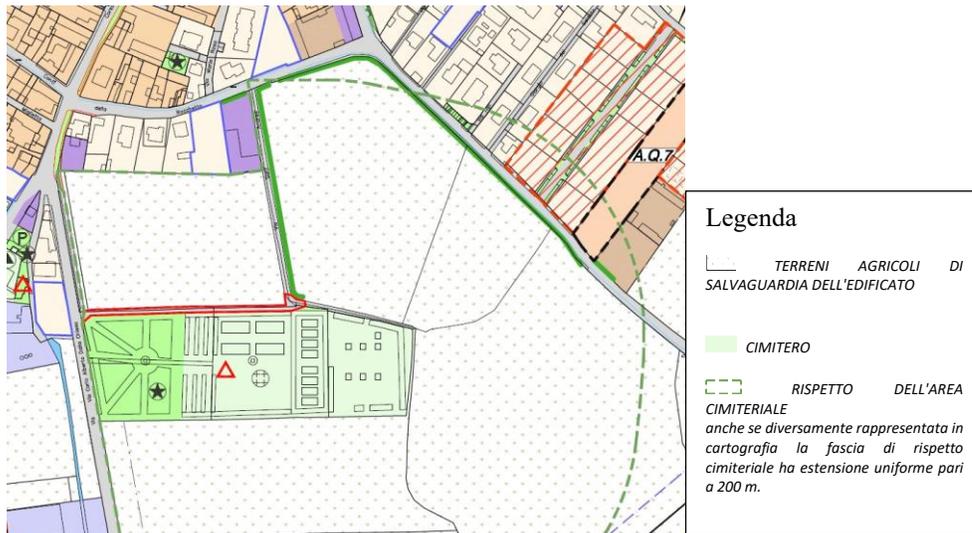


Figura 8.62 Stralcio della tavola P3a Assetto urbanistico sud del PRG di Livorno Ferraris, con dettaglio sull'area di raccolta del bestiame

La mesh con focus sull'area di area di raccolta del bestiame risorse si riporta in Figura 8.63.



Figura 8.63 Texture Area di raccolta del bestiame, Nadiral dense point cloud

8.4.6 *Il centro operativo comunale e il centro operativo misto*

Al fine di garantire il coordinamento delle attività di protezione civile in situazioni di particolare criticità di emergenza prevista o in atto, il Sindaco dispone dell'intera struttura comunale e può essere supportato dal sistema territoriale della protezione civile. La sede e l'organizzazione della struttura di coordinamento definiscono nel loro insieme il COC, strutturato in funzioni di supporto e attivato dal Sindaco con apposita ordinanza [83].

Il centro operativo comunale per Livorno Ferraris si individua presso l'edificio comunale sito in Via Martiri della Libertà, 100 (Figura 8.64 e Figura 8.65). La scelta tiene conto della necessità di escludere gli edifici le cui aree di sedime risultino nel P.A.I. ricomprese nelle perimetrazioni da tipo R4 (rischio molto elevato) a R2 (rischio medio).

Nel caso di inagibilità del comune si ritiene adatto come sede COC il Polivalente sito in Viale IV Novembre.



Figura 8.64 Il centro operativo comunale, prospetto principale. [Elaborazione propria]



Figura 8.65 Il centro operativo comunale, prospetto secondario. [Elaborazione propria]

Si riporta il modello texturizzato del comune in Figura 8.66 e Figura 8.67, che evidenzia come il modello 3D costruito fornisca una visualizzazione molto corrispondente alla realtà.



Figura 8.66 Metashape – Modello texturizzato, prospetto principale centro operativo comunale, Oblique dense point cloud



Figura 8.67 Metashape – Modello texturizzato, prospetto secondario centro operativo comunale, Oblique dense point cloud

8.4.7 Polivalente

Nell'autunno 2022 è stato inaugurato il Polivalente, che viene utilizzato solitamente per manifestazioni di vario tipo ma che in caso di emergenza potrebbe essere impiegato per riunioni sull'emergenza. Per brevi periodi potrebbe ospitare eventualmente persone, disponendo di cucina, bagni e di molti posti a sedere (Figura 8.68).



Figura 8.68 L'interno del polivalente. Fonte: Comune di Livorno Ferraris

8.5 Le tavole realizzate

Per le tavole complete si rimanda agli allegati.

Le tavole sono:

- Popolazione (Figura 8.69);
- Servizi e impianti tecnologici (Figura 8.70);
- Risorse (Figura 8.71);
- Edifici (Figura 8.72);
- Fase di emergenza (Figura 8.73).

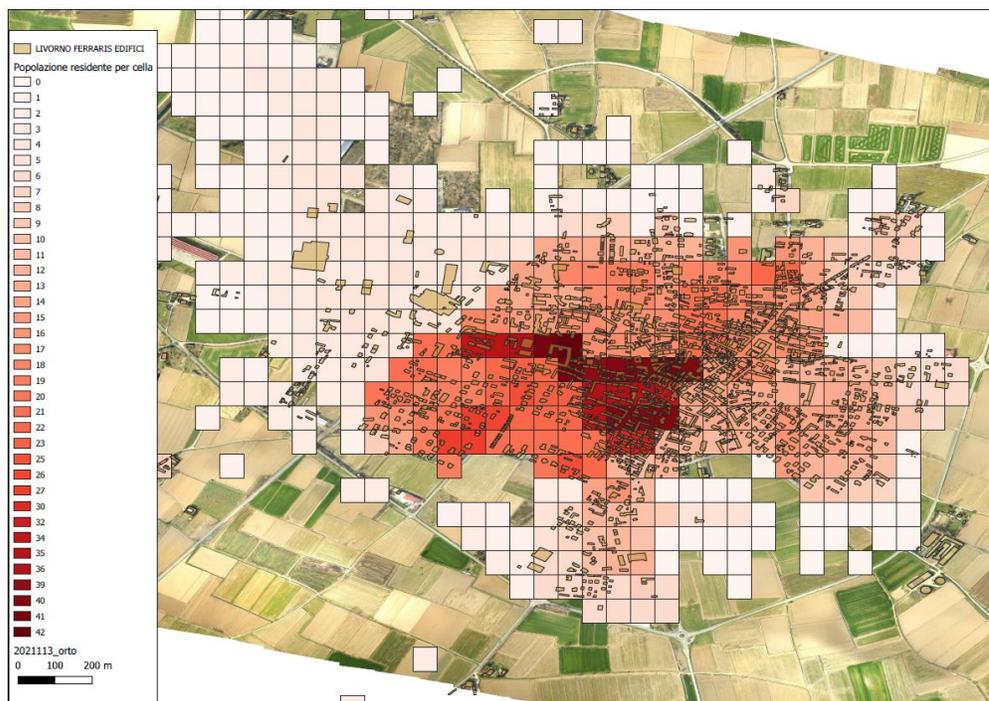


Figura 8.69 QGIS – Stralcio Allegato “Popolazione”, Popolazione residente per cella

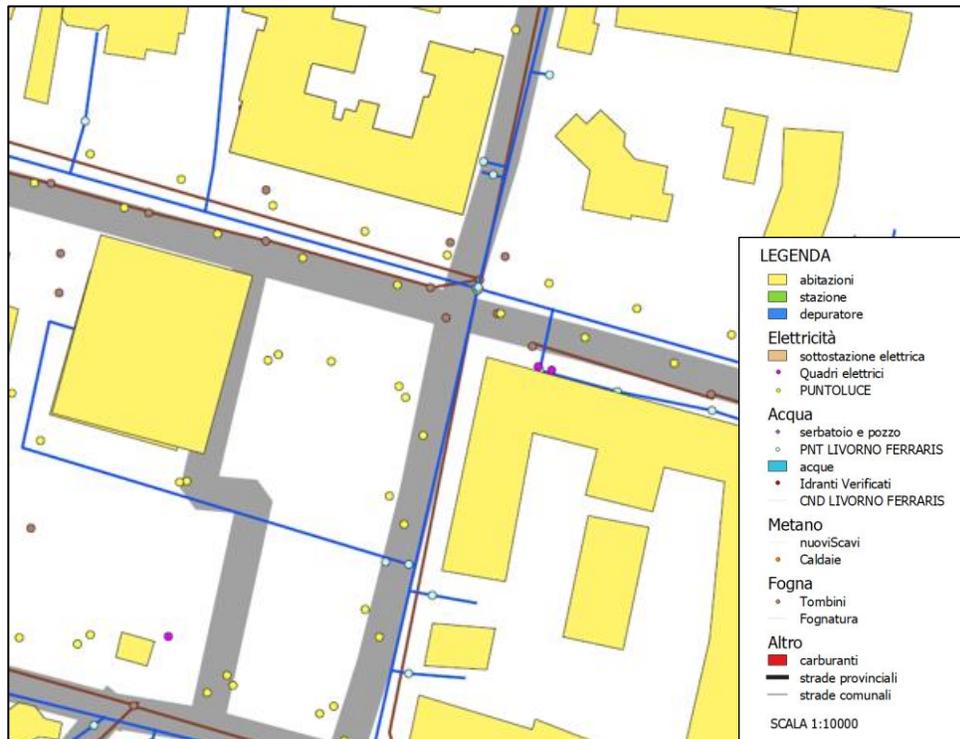


Figura 8.70 Dettaglio dell'Allegato "Servizi e impianti tecnologici"

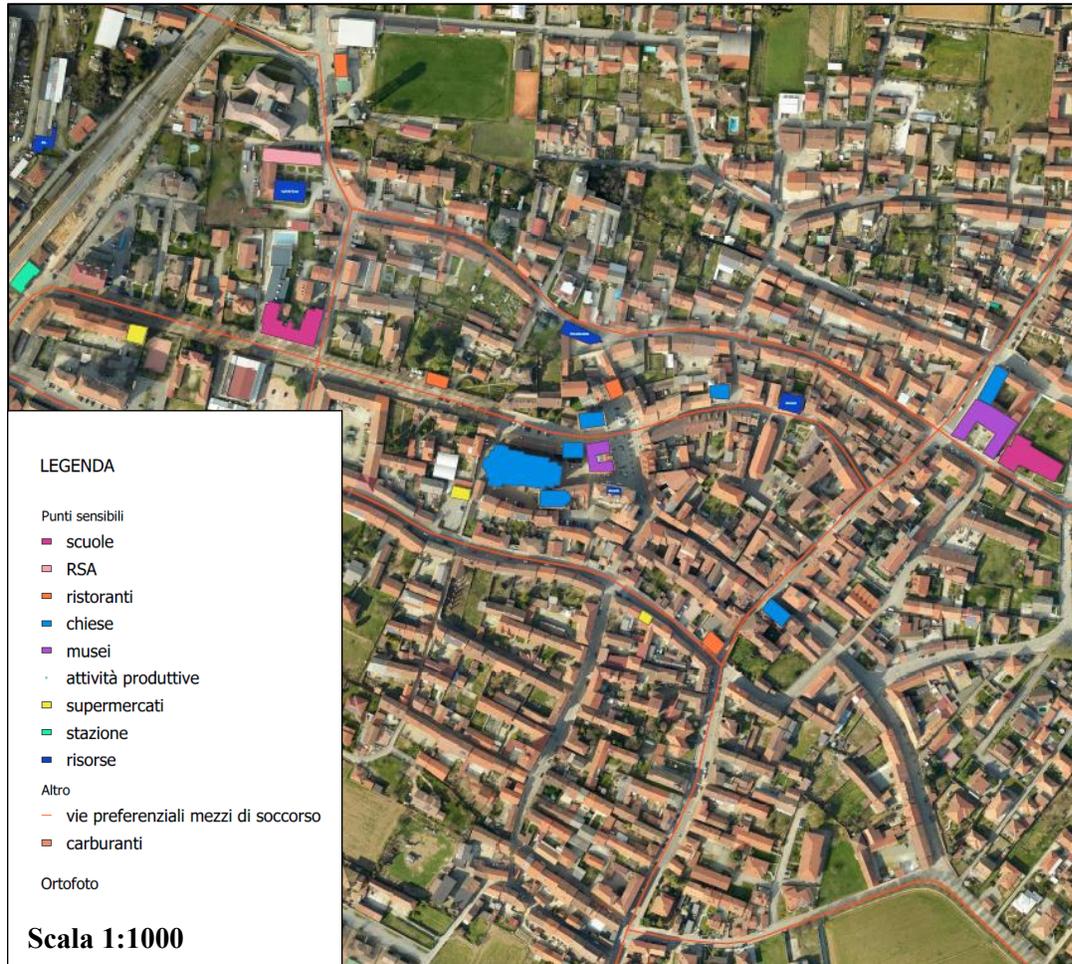


Figura 8.71 Dettaglio dell'Allegato "Risorse"

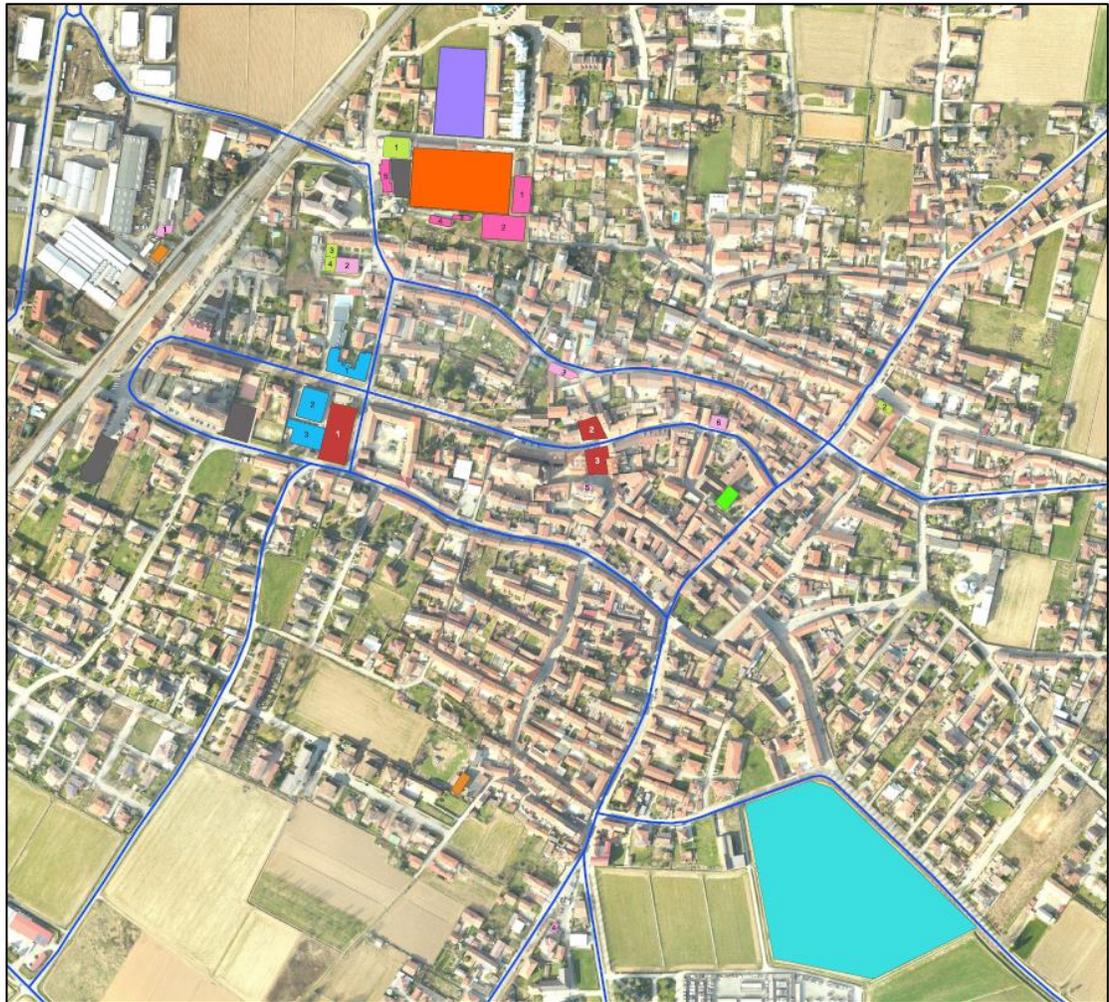


Figura 8.72 Dettaglio dell'Allegato "Fase di emergenza"

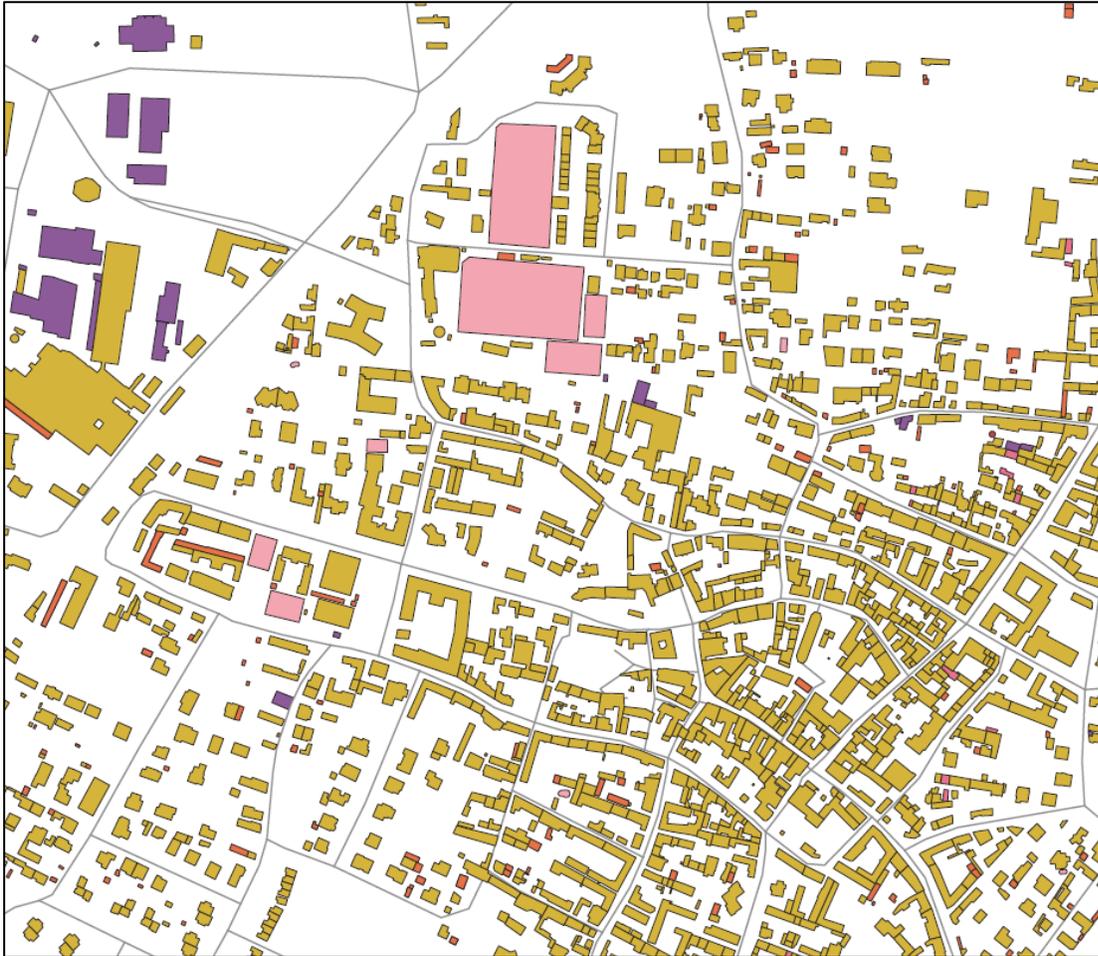


Figura 8.73 Dettaglio dell'Allegato "Fase di emergenza"

9 L'aggiornamento del SIT comunale

Lo stage curricolare svolto nel comune di Livorno Ferraris tra i mesi di ottobre e dicembre 2022 è stato fondamentale per scoprire le potenzialità del SIT comunale e definire, elaborando i dati ad alta risoluzione, delle proposte di aggiornamento.

Essendo più che ragionevole l'implementazione futura di rilievi tridimensionali e dati da essi derivanti nei SIT, le applicazioni qui riportate rappresentano un esempio metodologico attuabile anche in altri contesti.

9.1 L'implementazione delle elaborazioni

I dati digitali generati in questo lavoro di tesi, provenienti da un rilievo aereo – fotogrammetrico e importati nell'ambiente SIT, corrispondono a informazioni cartografiche di base (produzione di DBT, cioè « Database Topografici »). Nel caso di rilievo di tipo estensivo, questi dati sono a piccola, media e grande scala, con uniformità di precisione e costi contenuti. Gli elaborati che si ottengono in formato digitale comprendono cartografie, ortofotografie, modelli digitali del terreno e delle superfici [84].

9.1.1 L'import dell'ortofoto ad alta risoluzione

L'ortofoto a risoluzione 8 cm e di dimensione 28.12 GB per essere importata in tempi ragionevoli nel SIT comunale (Figura 9.1) è stata ritagliata in elementi di piccole dimensioni che, in seguito, vengono importati singolarmente e uniti tra di loro.

L'ortofoto con dettaglio sulla zona urbanizzata si riporta in Figura 9.2, le misurazioni effettuabili su GisMaster in Figura 9.3.

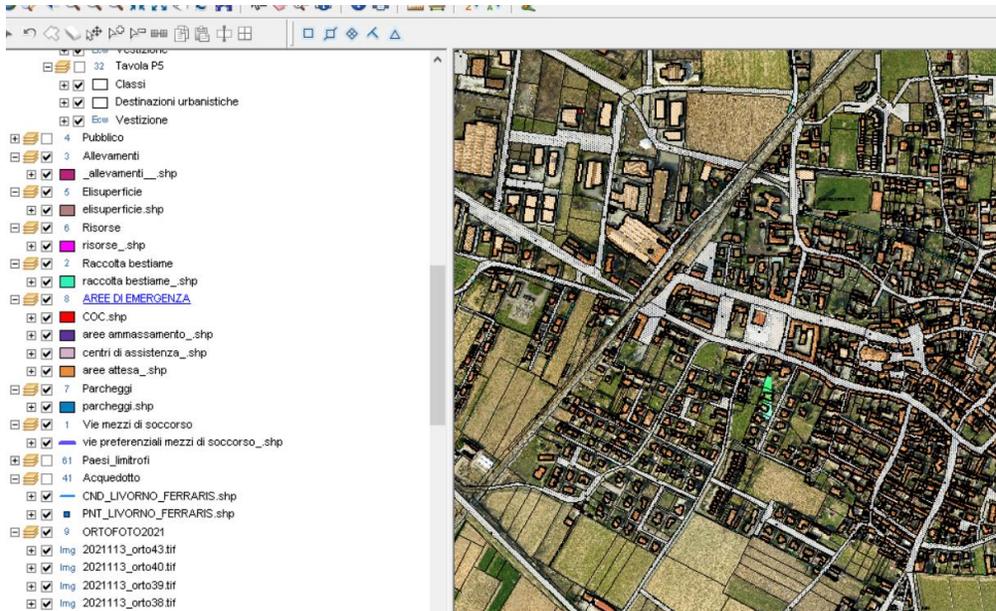


Figura 9.1 GisMaster – L'import dell'ortofoto nel SIT comunale



Figura 9.2 Dettaglio dell'ortofoto a risoluzione 8 cm

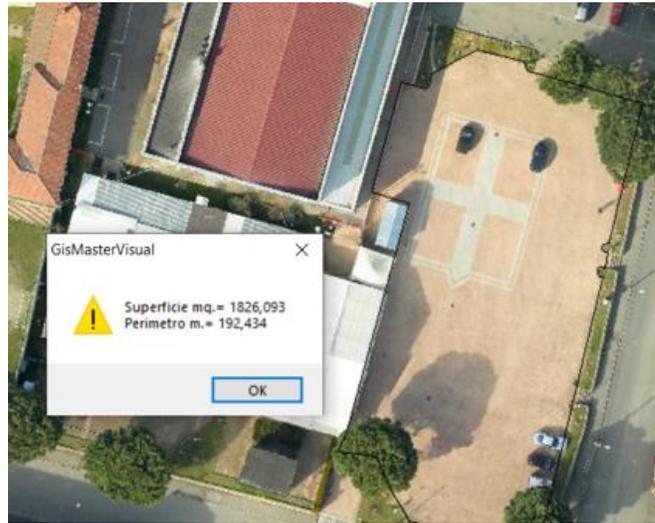


Figura 9.3 GisMaster - Misurazioni sull'ortofoto ad alta risoluzione

9.1.1 L'import degli shape file

Inoltre, nel GisMaster comunale è possibile l'import delle aree, delle vie di comunicazione e degli edifici impegnati in fase di emergenza (Figura 9.4).

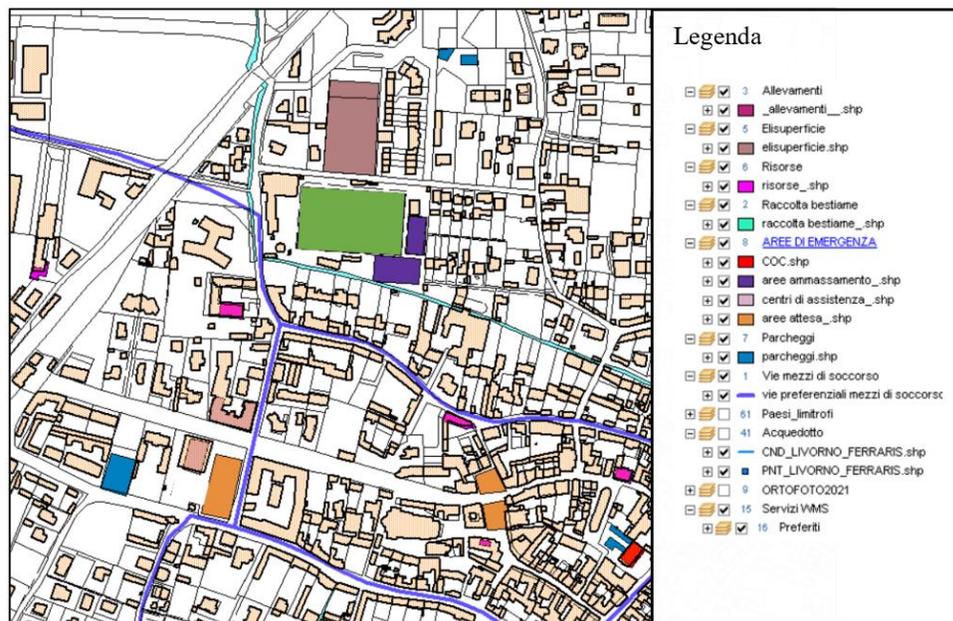


Figura 9.4 GisMaster - Rappresentazione su base catastale delle aree, delle vie di comunicazione e degli edifici impegnati in fase di emergenza

In aggiunta, può essere utile nella gestione territoriale e in caso di emergenza, caricare gli shape file su mappa. Ad esempio, in Figura 9.5 si riportano su mappa stradale gli edifici con le relative informazioni 3D facilmente interrogabili e le alberature; specificando l'indirizzo si può trovare l'albero o l'edificio.



Figura 9.5 ArcGis - Import degli edifici e degli alberi su mappa stradale

Disporre delle informazioni sulla tipologia, sullo stato delle radici e sulle malattie degli alberi da poter aggiungere ad ogni elemento nel Gis, consentirebbe all'ufficio tecnico di gestire in maniera più efficace gli interventi di manutenzione periodica.

In Figura 9.6 si riporta il 3D ottenuto estrudendo i poligoni degli edifici su ArcGis (involucro e coperture).

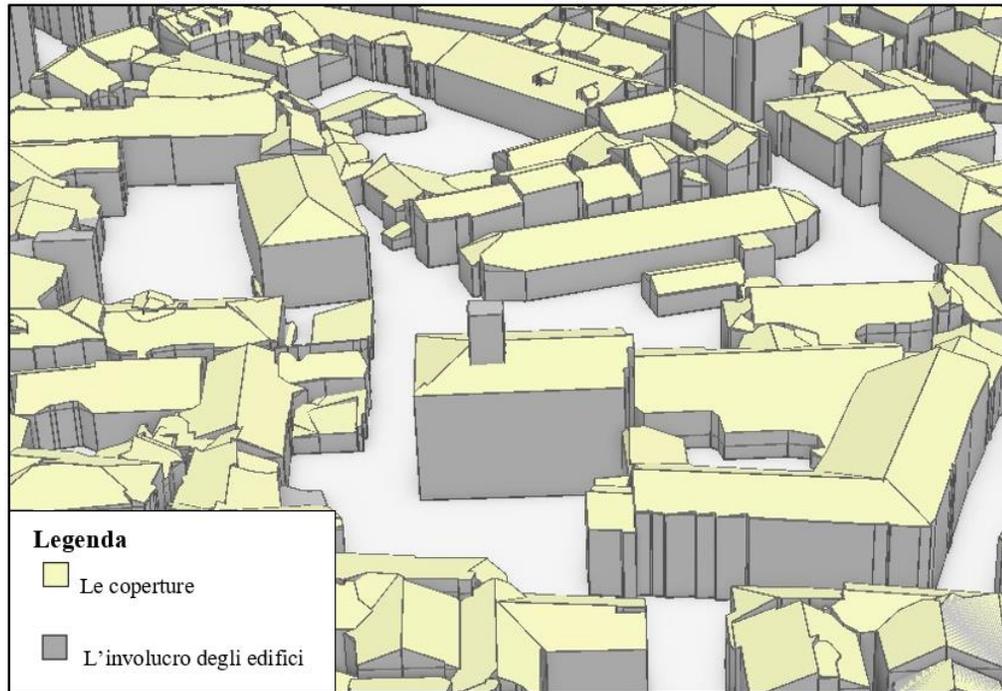


Figura 9.6: ArcGis – Il 3D degli edifici

9.2 L'applicativo GisMaster Protezione Civile

La gestione del Piano di Protezione Civile comunale è possibile utilizzando un modulo di protezione civile implementabile nel SIT. L'applicativo GisMaster Protezione Civile è un potente strumento nato affinché ogni Ente potesse mettersi nelle condizioni di prevenire e gestire in modo ottimale le attività di Protezione Civile. Il software permette di realizzare, aggiornare e gestire i Piani Comunali e Intercomunali di Protezione Civile in accordo con la normativa vigente. Le informazioni inserite nel database permettono di produrre le schede tecniche secondo gli schemi forniti dal Ministero dell'Interno, integrati con quelli predisposti dalla Prefettura, dalla Regione e dalla Provincia, ottenendo così un documento unico che risponde perfettamente a quanto richiesto da tutti gli organi di Protezione Civile di livello superiore a quello comunale. La suddivisione nelle aree tematiche dedicate alla prevenzione (Analisi Territoriale, Scenari di Rischio, Gestione Risorse) e alla gestione delle situazioni di pericolo (Gestione Emergenze e Modulistica) permette una consultazione rapida che fornisce le informazioni utili nel minor tempo

possibile. Ogni dato alfanumerico è georiferito e può essere associato a un numero illimitato di allegati: per questo in ogni situazione di rischio si dispone di un ottimo strumento di censimento che consente, in maniera sicura ed efficiente, la pianificazione e l'attuazione delle procedure necessarie per gli interventi [85].

9.3 Assegnazione dell'altezza agli edifici

La conoscenza delle altezze e delle volumetrie degli edifici è fondamentale per un ufficio tecnico nella gestione edilizia.

La classificazione degli edifici con ENVI LiDAR restituisce anche uno shape file dell'agglomerato urbano. Tuttavia, si va ad associare l'altezza del singolo oggetto nello shape file contenente gli edifici non aggregati, in quanto più corrispondente alla realtà soggetto a minori errori di classificazione.

Dopo aver generato il DTM e il DSM dal software ENVI LiDAR con dimensione dei pixels pari a 1m e a seguito di alcune elaborazioni effettuate su QGIS, è possibile implementare la tabella attributi dello shape file degli edifici con alcune informazioni.

In primo luogo, si estrae la differenza tra il DTM e il DSM, ottenendo la quota dei singoli edifici tramite il comando "Raster Calculator" (Figura 9.7).

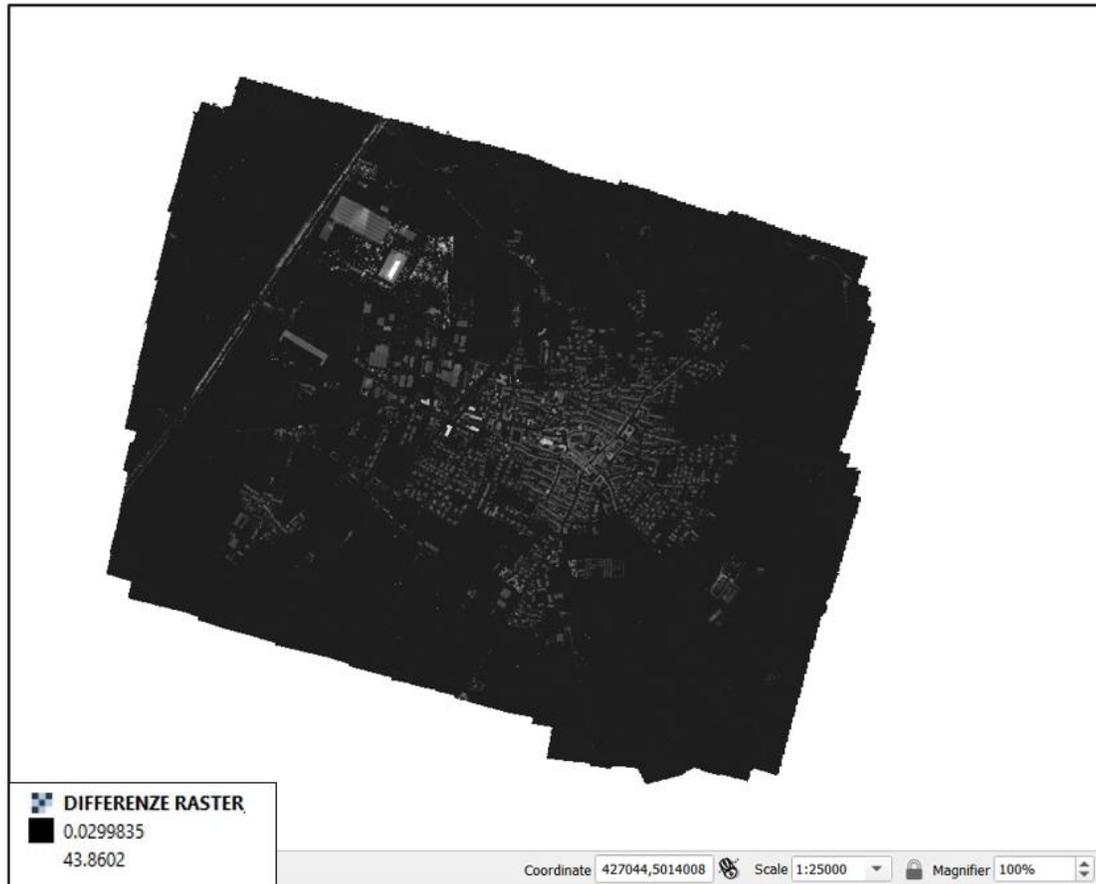


Figura 9.7: QGIS – Differenze DTM e DSM

In seguito, tramite il comando “Clip Raster by extent”, il raster rappresentativo della differenza tra il DTM e il DSM viene ritagliato, rispetto allo shape file degli edifici, ottenendo la quota dei soli edifici (Figura 9.8).



Figura 9.8: QGIS – Differenze DTM e DSM, ritagliato rispetto agli edifici, scala 1:20000

Per tener conto del fatto che alcuni pixels di bordo potrebbero riportare l'informazione della quota del terreno, delle scale o altri oggetti al posto di quella effettiva degli edifici (Figura 9.9), si genera un buffer di 0.5 m verso l'interno dei suddetti pixel.

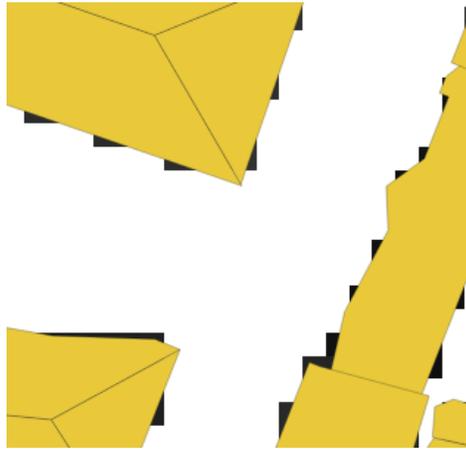


Figura 9.9: QGIS – Il raster “Differenze DSM DTM” ritagliato rispetto agli edifici

Le informazioni del raster ottenuto a seguito del buffer da 0.5 m vengono così associate al vettore degli edifici attraverso le statistiche zonali (Figura 9.10).

Il plugin “Statistiche zonali” [86] consente di analizzare i risultati di una classificazione tematica, generando colonne di output nel layer vettoriale e calcolando per ogni poligono le seguenti statistiche sui pixel che si trovano all'interno:

- media: per ottenere la media dei valori dei pixel;
- mediana: per ottenere la mediana dei valori dei pixel;
- deviazione standard: per ottenere la deviazione standard dei valori dei pixel;
- minimo: per ottenere il valore minimo dei valori dei pixel;
- massimo: per ottenere il valore massimo dei valori dei pixel.

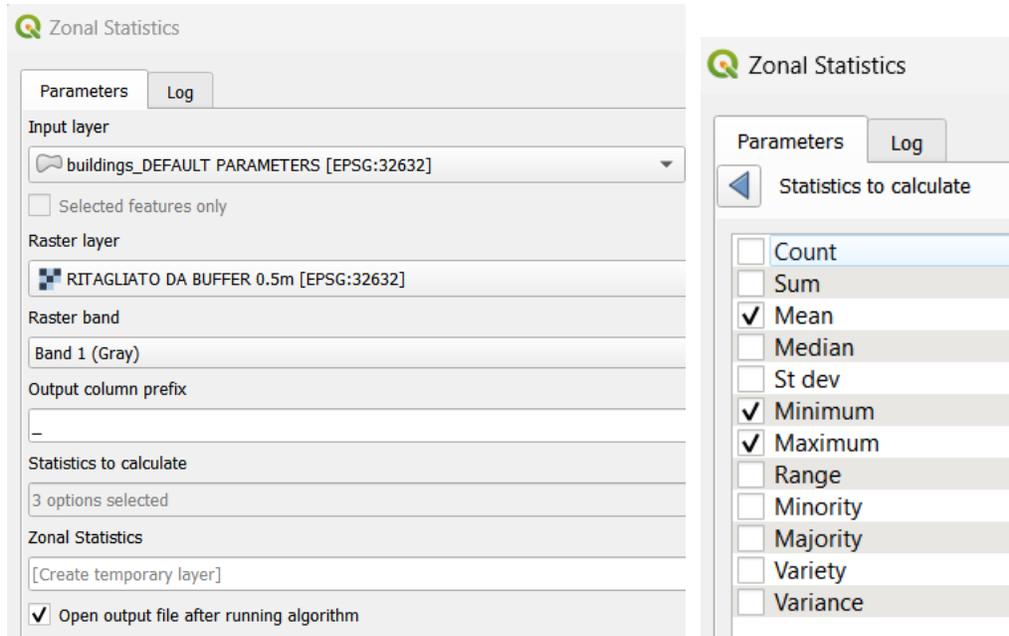


Figura 9.10: QGIS – Statistiche zonali, input layer edifici

In Figura 9.11 si riporta il risultato del processo, in cui i valori presenti nella tabella attributi sono relativi ai pixels del raster.

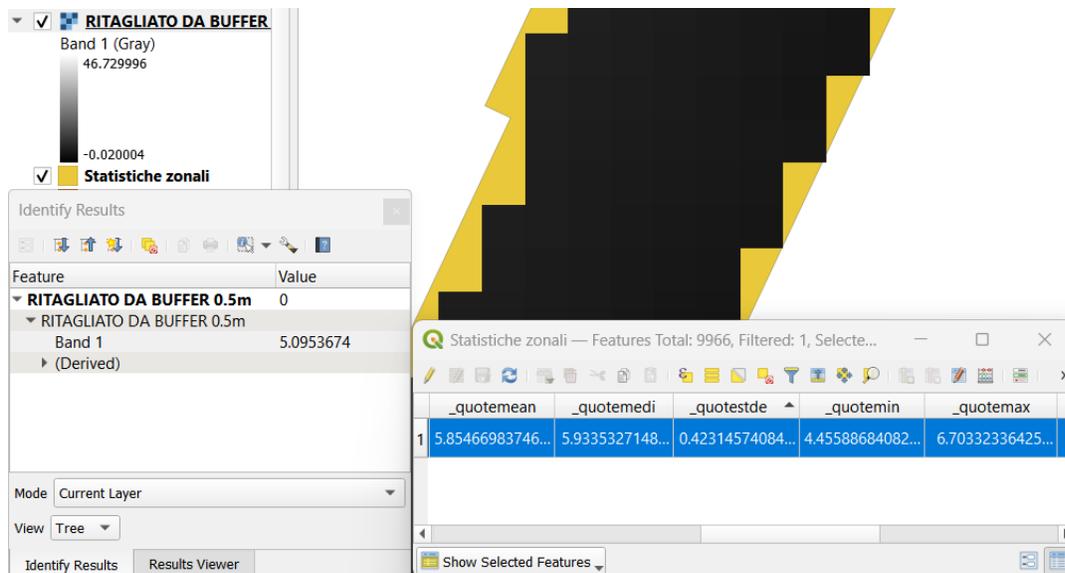


Figura 9.11: QGIS – Differenze DTM e DSM, ritagliato rispetto agli edifici

10 Applicabilità nel rischio metereologico

La tendenza al manifestarsi di eventi di pioggia più intensi e concentrati nel tempo sarà presumibilmente sempre più marcata rispetto al recente passato. Questa situazione induce a dover considerare eventi straordinari anche in contesti non soggetti storicamente a criticità.

Considerata l'inadeguatezza delle attuali infrastrutture idrauliche e stradali a sostenere eventi straordinari, come osservabile in svariati contesti nazionali e no, si ritiene necessario approfondire la gestione del rischio legato alle "bombe d'acqua".

Di solito non si dispone di acquisizioni di dati ad alta risoluzione, ma queste sarebbero necessarie per modellare degli scenari reali e simulare gli effetti su un dato territorio con una certa affidabilità.

In questo caso studio, disponendo di acquisizioni a dettaglio informativo elevato sarà possibile effettuare delle analisi accurate, a partire dalle elaborazioni prodotte.

10.1 Modellazioni su HEC-HMS ed HEC-RAS

In particolare, per simulare gli effetti dovuti a piogge intense e concentrate nel tempo si può importare il DTM su HEC-HMS ed HEC-RAS, che è un sistema di modellazione idrologica progettato per simulare i processi di deflusso delle precipitazioni dei bacini di drenaggio [87].

HEC-HMS consente la modellazione idrologica di un bacino, definendone gli elementi concettuali che lo rappresentano e i processi fisici che avvengono, per determinare le portate di piena attese in determinate sezioni del bacino in funzione dei tempi di ritorno considerati.

In questo software:

- vengono individuati automaticamente i bacini e le direzioni di accumulo dei flussi a partire dal DTM;
- si carica il file che riporta le piogge con intervallo e intensità definite (in formato excel);
- si impostano i diversi parametri di input tra cui il curve number;
- si definisce il modello di simulazione afflussi-deflussi e si ottengono i deflussi in tutte le direzioni di accumulo.

I risultati della modellazione idrologica effettuata con HEC-HMS a partire dal DTM possono essere così importati su HEC-RAS [88], un software che permette di eseguire calcoli di flusso unidimensionale costante, unidimensionale e bidimensionale di flusso instabile, per simulare la propagazione dell'onda di piena lungo il reticolo e quindi determinare l'altezza che il livello idrico raggiunge nelle varie sezioni [89].

Un'applicazione possibile su HEC-RAS potrebbe consistere nella simulazione del flusso d'acqua che giunge in un sottopasso al seguito di eventi eccezionali di pioggia sul territorio, impostando opportuni parametri in ingresso.

Inserendo come input i dati risultanti dall'analisi idrologica del deflusso delle precipitazioni dei bacini di drenaggio condotta su HEC-HMS, è possibile simulare il flusso d'acqua bidimensionale o tridimensionale in HEC-RAS ottenendo una mesh che, in ambiente Metashape o Cloud Compare, può essere unita a quella del solo territorio tramite il comando "Merge".

Il risultato fornirebbe una visualizzazione realistica dello scenario di rischio meteorologico, consentendo di individuare gli elementi investiti dal flusso d'acqua e di effettuare delle misurazioni.

Il modello tridimensionale riportato in Figura 10.1 è soltanto di visualizzazione e non ottenuto da calcoli idrologici e/o idraulici, ma mostra evidenti potenzialità, essendo possibile in esso la rappresentazione dei livelli d'acqua, effettuare delle sezioni, generare dei profili e misurare oggetti in maniera immediata, su un prodotto ad alta risoluzione.



Figura 10.1 Modello texturizzato , dettaglio su Piazza Galileo Ferraris

La modellazione idraulica della rete di drenaggio urbano di una città può essere svolta anche attraverso il modello di simulazione afflussi-deflussi dinamico SWMM [90], utilizzabile sia per il singolo evento di pioggia che per le simulazioni di lungo periodo nelle aree prevalentemente urbane.

I modelli delle reti di drenaggio urbane solitamente adottati utilizzano dei DTM non ad alta risoluzione. In alcune applicazioni è però indispensabile, per ottenere una modellazione appropriata, essere provvisti di dati con un grado di dettaglio elevato.

Il DTM è impiegabile, oltre che per descrivere l'orografia del terreno utile a suddividere i bacini idrografici, anche per definire le pendenze medie dei sottobacini, da caricare come input in SWMM.

Inoltre, verranno estratte le curve di livello, con una precisione molto elevata come i dati di partenza, che verranno interpolate per la suddivisione in sottobacini [91].

10.2 Analisi dei punti critici: il sottopasso di Livorno Ferraris

La costruzione di un modello 3D consente di poter visualizzare e individuare i possibili punti critici durante eventi di pioggia estremi. Si riportano di seguito la visualizzazione dal 3D (Figura 10.2 e Figura 10.3), le misurazioni e le sezioni trasversali e longitudinali effettuate del sottopasso di via Milone (Figura 10.4, Figura 10.5 e Figura 10.6). Questo collega la zona urbanizzata a quella industriale e rappresenta uno dei maggiori punti critici di Livorno Ferraris.



Figura 10.2 Metashape - Modello texturizzato , dettaglio sul sottopasso



Figura 10.3 Metashape - Modello texturizzato , dettaglio sul sottopasso

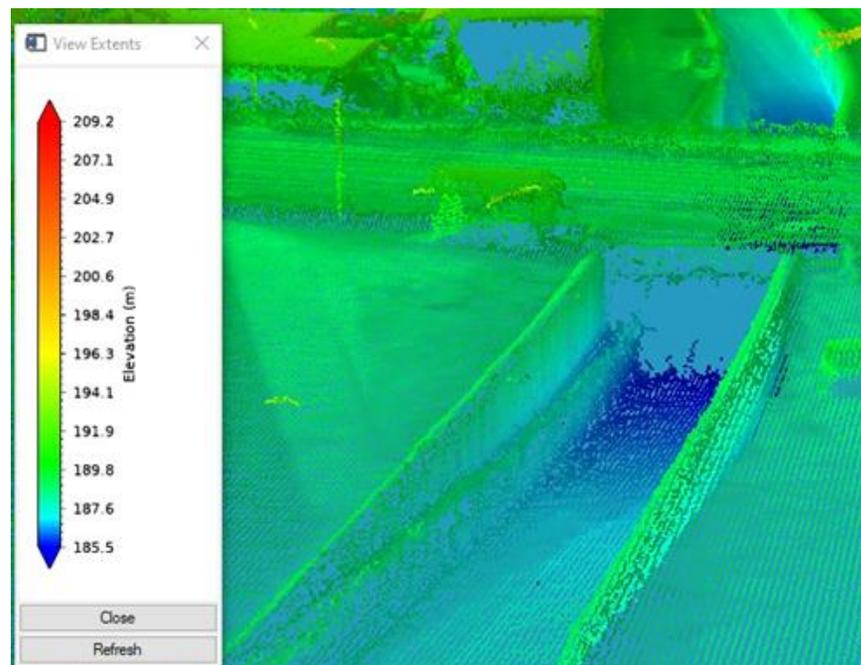


Figura 10.4 ENVI LiDAR, dettaglio sul sottopasso

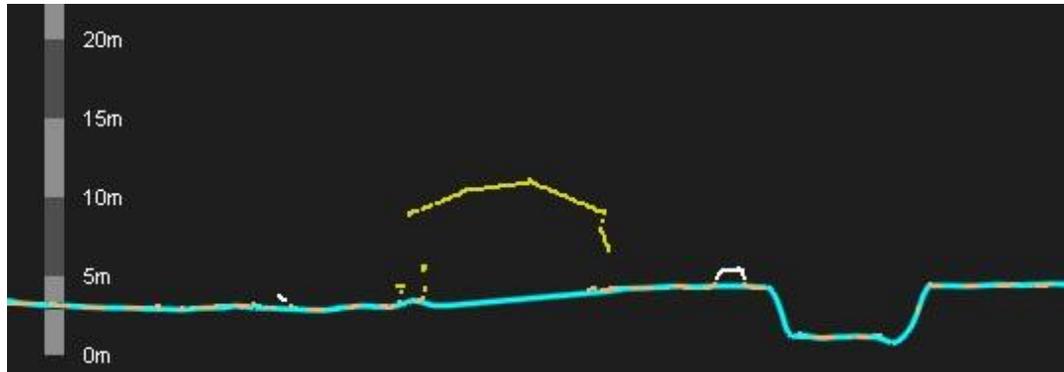


Figura 10.5 ENVI LiDAR, sezione trasversale del sottopasso



Figura 10.6 ENVI LiDAR, sezione longitudinale del sottopasso

11 Applicazioni nei vigili del fuoco

Per verificare l'applicabilità dei dati ad alta risoluzione e del modello tridimensionale costruito nelle attività dei Vigili del fuoco, sono stati organizzati una serie di incontri nei mesi di febbraio e marzo 2023 con il Comandante della sede provinciale di Vercelli e con i Vigili del fuoco che operano sul territorio.

11.1 Organizzazione attuale

Dai confronti risulta che ad oggi le attività di pianificazione e di intervento svolte dai Vigili del fuoco sono effettuate maggiormente con il software Global Mapper®. L'obiettivo futuro è di impiegare invece il software ArcGis Pro, più versatile ed efficiente, ma sarà necessario del tempo prima che questo passaggio venga compiuto.

A prescindere dal software impiegato, i Vigili del fuoco hanno la possibilità e le competenze per gestire gli shape file generati in questo lavoro di tesi.

I dati potranno essere caricati, ad esempio, sull'applicativo online ESRI del corpo nazionale, consentendo alla sala operativa e ai Vigili di ottenere informazioni in tempi rapidi, ma è necessario caricare i dati e le mappe anche su un ArcGis Desktop, per tener conto di una possibile assenza di connessione.

I prodotti derivati dalle elaborazioni del dataset ad alta risoluzione, che interessano maggiormente i Vigili del fuoco, sono:

- gli shapefile di edificato e vegetazione, visualizzabili e interrogabili sia in 2D che 3D;
- sezioni e profili di edifici e aree;
- il modello tridimensionale che potrà essere caricato su un browser web senza plugin.

11.2 Applicazione nella prevenzione incendi

I vigili del fuoco intervengono frequentemente su scoppi e incendi di varia tipologia che riguardano abitazioni, stabilimenti produttivi, industrie e vegetazione.

Disponendo di dati ad alta risoluzione, si potrebbero dunque incrementare le informazioni a disposizione per attuare una fase di prevenzione incendi attenta e scrupolosa.

La prevenzione è un compito di primario interesse pubblico finalizzato al raggiungimento degli obiettivi di sicurezza della vita umana, sicurezza delle persone e protezione della proprietà e dell'ambiente attraverso la promozione, la ricerca, la preparazione e la sperimentazione di norme, misure, rimedi, ausili e modi di azione per prevenire o limitare le conseguenze di un incendio e degli eventi connessi [92].

La prevenzione incendi è interdisciplinare e tiene conto principalmente della sicurezza nei luoghi di lavoro, dei prodotti da costruzione, del controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose, dell'energia e della protezione da radiazioni ionizzanti.

I Vigili del fuoco effettuano dei controlli su una serie di attività [93], nelle quali l'applicabilità del dataset potrà essere approfondita a seguito di nuovi approfondimenti. In particolare, data la presenza di un'area industriale molto sviluppata a Livorno Ferraris, si ritiene utile esaminare uno scenario in questo campo.

11.3 Il supporto a persone con disabilità

Prestare assistenza ai disabili è un aspetto fondamentale, specialmente in situazioni di emergenza in cui si richiedono alcuni accorgimenti particolari.

Le elaborazioni di questo lavoro di tesi trovano impiego nella definizione delle azioni di soccorso da fornire alle persone con disabilità, essendo provenienti da dati di partenza ad alta risoluzione che permettono di avere informazioni molto dettagliate.

Gli edifici che sono stati estratti come poligoni da ENVI LiDAR, a cui si attribuiscono le informazioni relative all'area, al perimetro, alla quota al colmo e alla gronda, possono essere associati al numero di piani e, tramite il supporto dell'ufficio tecnico, alla data di costruzione.

Inoltre, si potrebbe aggiungere l'informazione dell'ubicazione delle persone con disabilità, indicando per ognuna l'indirizzo e il piano di residenza nella tabella attributi dell'edificato.

Questo dato dovrebbe essere fornito presumibilmente dai medici di base e dalle A.S.L, che mapperanno i disabili sul territorio indicando i nominativi degli allettati con deambulazione assistita bisognosi di cure continue.

Si ritiene altresì fondamentale coinvolgere l'ufficio anagrafe per l'aggiornamento continuo dell'elenco, tenendo conto dei decessi e delle nuove nascite, in modo da avere uno strumento che in tempo di pace aiuti la programmazione e in fase di emergenza favorisca l'operatività delle attività di soccorso ai disabili.

11.3.1 Disabilità motoria

La mobilità di una persona disabile [94] dipende in gran parte dal grado di cooperazione che la persona può fornire secondo due tipologie di azioni:

- spostamenti di tutto il peso del corpo della persona da soccorrere definiti sollevamenti;
- spostamenti di parti del corpo della persona.

Le possibilità di collaborazione delle persone devono essere individuate al fine di comprendere l'aiuto necessario da fornire alle stesse e per effettuare delle azioni che garantiscano allo stesso tempo il corretto espletamento della prestazione richiesta e la salvaguardia dell'integrità fisica del soccorritore.

Il modello tridimensionale, fornendo visualizzazioni ad alta risoluzione su macro/microcontesti, può aiutare a identificare la presenza delle barriere architettoniche che condizionano fortemente i disabili nei loro spostamenti specialmente in condizioni critiche, per definire delle soluzioni che attenuino gli effetti.

Per questo motivo, la conoscenza dell'edificato e delle vie di comunicazione con un livello di dettaglio così spinto potrà agevolare l'attività dei vigili del fuoco, con la definizione già in fase di pianificazione dei sollevamenti e degli spostamenti da svolgere sulle persone con disabilità.

I vigili del fuoco potranno dunque individuare gli accessi agli edifici, la presenza di cortili interni e di balconi e il numero di piani degli edifici in maniera immediata a partire dal modello 3D.



Figura 11.1 Metashape – Il numero di piani, i garage, i balconi e i cortili interni delle abitazioni facilmente individuabili nel modello 3D



Figura 11.2 Metashape – Il numero di piani, i garage, i balconi e i cortili interni delle abitazioni facilmente individuabili nel modello 3D

11.3.1.a Persone obese

Nel caso di persone obese, che non hanno indipendenza nei movimenti, può essere utile conoscere l'altezza del piano in cui è necessario prestare assistenza.

11.3.2 Disabilità sensoriale

Durante un'emergenza le persone con disabilità sensoriale [95] non devono essere sopraffatte, dato che la capacità di sopravvivenza di un individuo dipende fortemente dalle capacità sensoriali.

I dispositivi da impiegare per segnalare un allarme di incendio devono essere completamente comprensibili in ragione delle "abilità" delle persone, si richiede dunque l'accoppiamento a controparti in azione sinergica tra loro.

Sono da prevedere le segnalazioni nei locali, da realizzare con segnali tattili, in Braille e a caratteri ingranditi per i non vedenti, per superare l'impossibilità di percepire ed elaborare gli indicatori visivi esistenti (segnaletica di sicurezza) e garantire la possibilità di uscire autonomamente dal luogo in sicurezza.

A prescindere dalle capacità di percezione del soggetto, si necessita di guide tattili a terra e di vie di fuga identificabili anche con opportune distinzioni cromatiche o da corrimano, ad eccezione dei tratti in cui il percorso è agevolato da guide naturali come nel caso di corridoi lineari aventi una larghezza non superiore ai due-tre metri.

Il modo migliore per incrementare le probabilità di sopravvivenza in tale condizione è una combinazione di alcune semplici tecniche di autoprotezione e tecnologie di sicurezza antincendio. Le azioni da intraprendere sono da descrivere in anticipo, le segnalazioni delle richieste di aiuto variano in funzione del tipo di disabilità e pertanto è necessario considerare l'acquisizione di strumenti capaci di integrare i deficit dei soggetti, ad esempio aventi disabilità cognitive, dell'udito e della vista.

La mobilità in caso di emergenza può essere complicata dagli ostacoli di tipo edilizio presenti nell'ambiente. In particolare, una prima sommaria elencazione degli intralci comprende:

- la presenza di gradini od ostacoli sui percorsi orizzontali;
- la non linearità dei percorsi;

- passaggi di larghezza insufficiente e/o elementi sporgenti che possono rendere la strada tortuosa e pericolosa;
- la lunghezza eccessiva dei percorsi.

Il soccorso alle persone disabili potrebbe avvenire in presenza di rampe delle scale dalle caratteristiche inadeguate, nel caso di ambienti posti al piano diverso da quello dell'uscita. Oltre agli elementi puramente architettonici, Oltre agli elementi puramente architettonici, possono essere presi in considerazione anche altri elementi impiantistici o gestionali:

- la presenza di porte che richiedano uno sforzo eccessivo per l'apertura o senza ritardo di chiusura, al fine di un utilizzo senza pericolo per le persone che necessitano di un tempo maggiore di attraversamento;
- organizzazione / disposizione degli arredi, macchinari o altri elementi in modo da non intralciare il movimento degli utenti;
- mancanza di misure alternative (di tipo sia edilizio che gestionale) all'esodo autonomo lungo le scale, nel caso di ambienti situati al piano diverso da quello dell'uscita.
- organizzazione / disposizione degli arredi, macchinari o altri elementi in modo da non determinare impedimenti ad un agevole movimento degli utenti;
- mancanza di misure alternative (di tipo sia edilizio che gestionale) all'esodo autonomo lungo le scale, nel caso di ambienti posti al piano diverso da quello dell'uscita.

Al verificarsi di una situazione di emergenza la capacità di orientamento può complicarsi per via dell'inadeguatezza della segnaletica presente in rapporto all'ambiente o alla conoscenza di questo da parte delle persone. La relativa valutazione deve essere svolta anche tenendo conto della capacità individuale di identificare i

percorsi (e le porte) che conducono verso luoghi sicuri e del fatto che questi devono essere facilmente fruibili anche da parte di persone estranee al luogo. Inoltre, in tale ambito è necessario valutare la mancanza di misure alternative (edilizie, impiantistiche o gestionali) rispetto alla cartellonistica, che è basata esclusivamente sui segnali visivi e costituisce solo una parte della segnaletica di sicurezza, (così come definita nell'art. 1.2.a del D.Lgs. 493/96).

La percezione dell'allarme o del pericolo può complicarsi per via dell'inadeguatezza dei sistemi di segnalazione. Il messaggio trasmesso con dispositivi sonori deve essere percettibile e comprensibile da tutti, altrimenti si devono considerare delle misure alternative ai segnali acustici; l'allarme e il pericolo devono essere segnalati anche visivamente ed è da valutare se il sistema di comunicazione sia adeguato.

È necessario predisporre la segnaletica di sicurezza ritenuta idonea, che potrebbe non limitarsi alla sola cartellonistica, ma basarsi su dei sistemi alternativi. Le misure edilizie ed impiantistiche devono essere necessariamente coordinate con quelle di carattere gestionale, tenendo conto che queste ultime possono, in caso di necessità, integrare o sostituire le altre. Le indicazioni fornite nella successiva descrizione sono puramente indicative e non esaustive delle soluzioni possibili e vanno a sommarsi a quelle prescritte sia dalle specifiche norme in materia di prevenzione incendi che quelle finalizzate al superamento delle barriere architettoniche.

11.3.3 Mezzi da usare

La scelta del tipo di mezzo e delle attrezzature da impiegare è più immediata se si dispone di un'ortofoto ad alta risoluzione, in cui è possibile distinguere l'edificato e le strade con informazioni metriche dettagliate.

L'applicativo online utilizzato attualmente dai Vigili riporta l'indicazione delle strade strette nel centro storico di Vercelli, individuate sulla base delle informazioni derivanti dalle esperienze locali ma non supportate da informazioni metriche.

Potendo misurare facilmente la larghezza delle strade e dei marciapiedi di Livorno Ferraris, si potranno aggiungere queste informazioni nell'applicativo online.

I mezzi da impiegare dipendono dalla situazione, la scelta può ricadere su:

- A.P.S. (auto pompa serbatoio), ovvero un camion avente un serbatoio di acqua con una pompa per gli incendi, dei respiratori per andare in luoghi pieni di fumo, delle scale per raggiungere finestre e balconi e una serie di attrezzi per effettuare manovre particolari di accesso ai locali, spargere schiuma sugli incendi e altro. L'A.P.S. è solitamente l'automezzo più utilizzato per gli interventi.
- Autoscala, ovvero una macchina che si può sviluppare fino a 50 metri di altezza e permette di raggiungere i piani più alti per prestare soccorso a persone e arrivare vicini al luogo dell'incendio o del pericolo.
- Autobotte pompa (ABP), dotato di serbatoio schiumogeno e serbatoio d'acqua. Questo mezzo si allerta quando servono grandi quantità di acqua.

Consultando semplicemente le tabelle attributi, i Vigili del fuoco potranno così effettuare scelte rapide ma sicure, che consentiranno di adottare il mezzo dalle caratteristiche più idonee in ogni contesto, specialmente in situazioni particolari che richiedono mezzi ed attrezzature specifiche.

Le misure finalizzate a rendere più agevole l'esodo in caso di emergenza riguardano principalmente i seguenti punti:

- adeguamento dei percorsi ai requisiti di complanarità della pavimentazione;
- adeguamento delle scale ai requisiti di comodità d'uso;
- eliminazione di gradini o soglie di difficile superamento, anche attraverso la realizzazione di rampe;
- riduzione della lunghezza dei percorsi di esodo;
- ampliamento dei passaggi di larghezza inadeguata;
- installazione di corrimano anche nei percorsi orizzontali;
- realizzazione di spazi calmi, ovvero di adeguata compartimentazione degli ambienti, con l'obiettivo di risolvere i problemi che possono insorgere in caso di esodo attraverso scale;
- realizzazione di ascensori di evacuazione quando l'esodo è possibile solo attraverso le scale; - adeguamento degli spazi antistanti e retrostanti le porte ai requisiti di complanarità della/e pavimentazione/i;
- verifica della complessità nell'utilizzo dei dispositivi di apertura delle uscite di sicurezza sia in relazione alla loro ubicazione nel contesto del serramento, sia dello sforzo da applicare (ovvero della capacità fisica degli utenti) per aprirle;

11.4 Rischio meteorologico

L'estrazione dei poligoni delle coperture delle abitazioni (Figura 11.1) può essere utili ai vigili del fuoco nel comprendere come intervenire in condizioni meteorologiche avverse che, già in passato (paragrafo 8.5.1.a), hanno causato il divelto delle coperture sul territorio di Livorno Ferraris.

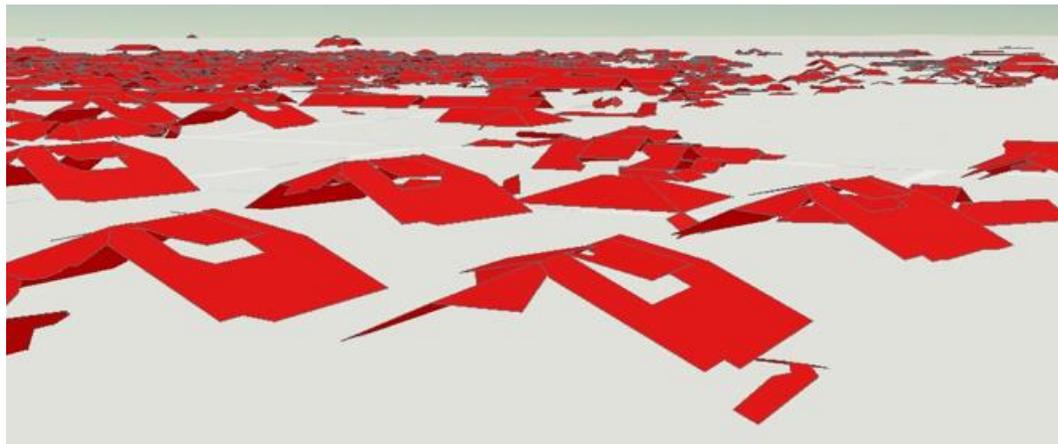


Figura 11.3 ArcGis Pro - Le coperture delle abitazioni

Generalmente, la tipologia di copertura incide molto sulla probabilità di divelto, che risulta maggiore nel caso di copertura in lamiera. Infatti, nelle coperture a coppi si verifica di solito il distacco di elementi singoli.

L'aggiunta dell'attributo "tipologia della copertura" allo shape file degli edifici potrà dunque essere molto utile per comprendere le aree maggiormente vulnerabili e dunque da attenzionare dopo l'emanazione dei Bollettini di allerta meteo-idrologica della Protezione Civile.

In aggiunta, è possibile effettuare delle misurazioni nella visualizzazione 3D di ArcGis Pro, come ad esempio determinare la pendenza della copertura dal rapporto tra la differenza di quota al colmo e in gronda estratta dal software e la distanza orizzontale corrispondente (Figura 11.4).

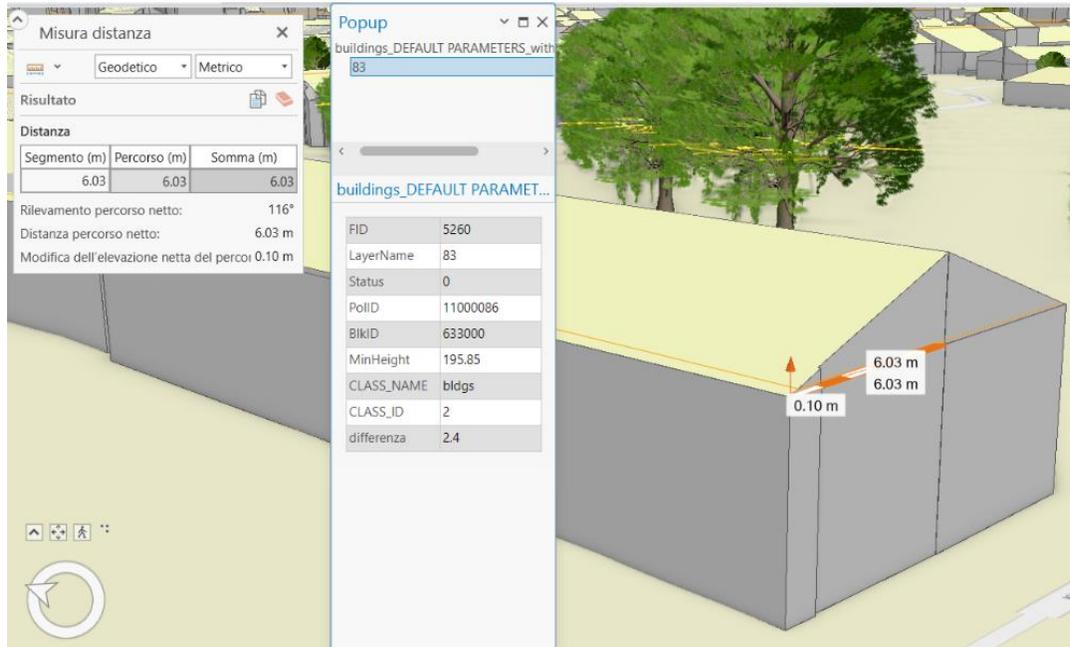


Figura 11.4 ArcGIS Pro - Le caratteristiche della copertura, l'attributo "differenza" rappresenta la differenza di quota tra colmo e gronda.

I Vigili del fuoco in sala operativa ricevono, ad esempio dall'ufficio tecnico comunale, la localizzazione degli edifici e degli alberi su cui intervenire, e forniscono le informazioni agli operatori, che utilizzano Street view.

L'implementazione dei dati ad alta risoluzione consentirebbe alla sala operativa, una volta individuato l'edificio o l'albero su cui è necessario intervenire, di fornire dal modello in ArcGIS, delle informazioni molto più dettagliate:

- numero di piano, ottenuto dividendo la differenza tra la quota alla gronda e a terra per l'altezza del singolo piano posta pari a 3 m (Figura 11.5), altezza massima e minima e caratteristiche della copertura (pendenza e tipologia) degli edifici;
- altezza massima, estensione della chioma e tipologia degli alberi.

PollID	MinHeight	MaxHeight	differenza	_quotemear	_quotemedi	_quotestde	_quotemin	_quotemax	_quoterang	Num. piani
17000318	198.75	208.25	9.500	4.937012...	4.742507...	1.86188141658...	2.0299987792...	8.40522766113...	6.37522888183...	3
17000313	198.96	209.00	10.040	5.935578...	5.953247...	2.38122236628...	2.2299957275...	10.3988037109...	8.16880798339...	3
17000308	198.41	208.99	10.580	6.472025...	6.629364...	2.73292798160...	2.0841674804...	10.9799957275...	8.89582824707...	3
20000164	194.94	201.66	6.720	6.433332...	6.229095...	1.64888622829...	3.6300048828...	9.62998962402...	5.99998474121...	2

Figura 11.5 QGIS – Il numero di piani degli edifici

Inoltre, è possibile verificare la posizione degli oggetti in maniera immediata tramite l'Arcgis world geocoding service (Figura 11.6), che permette di conoscere la localizzazione di un edificio o di un albero in maniera istantanea.

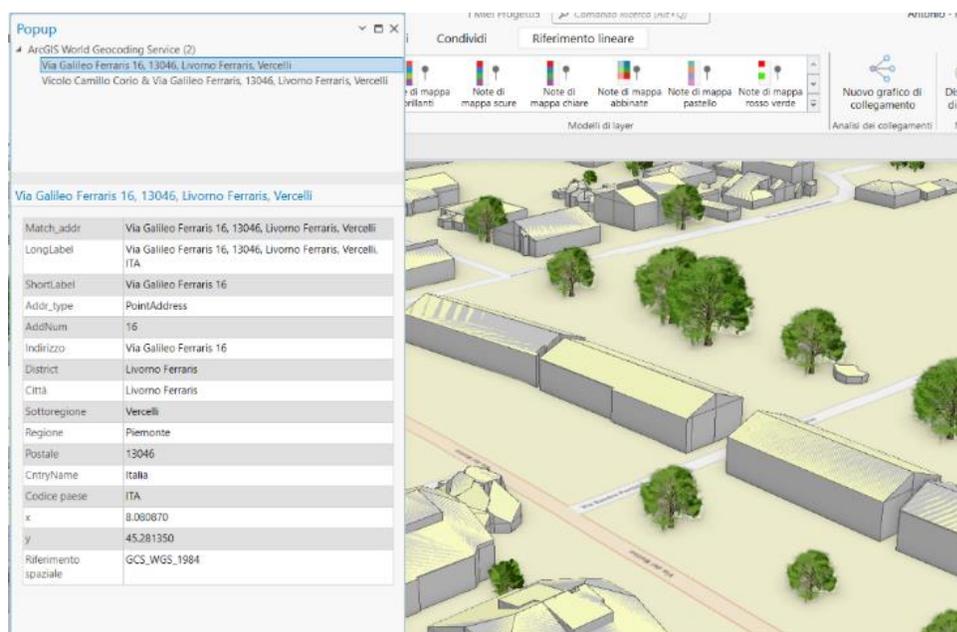
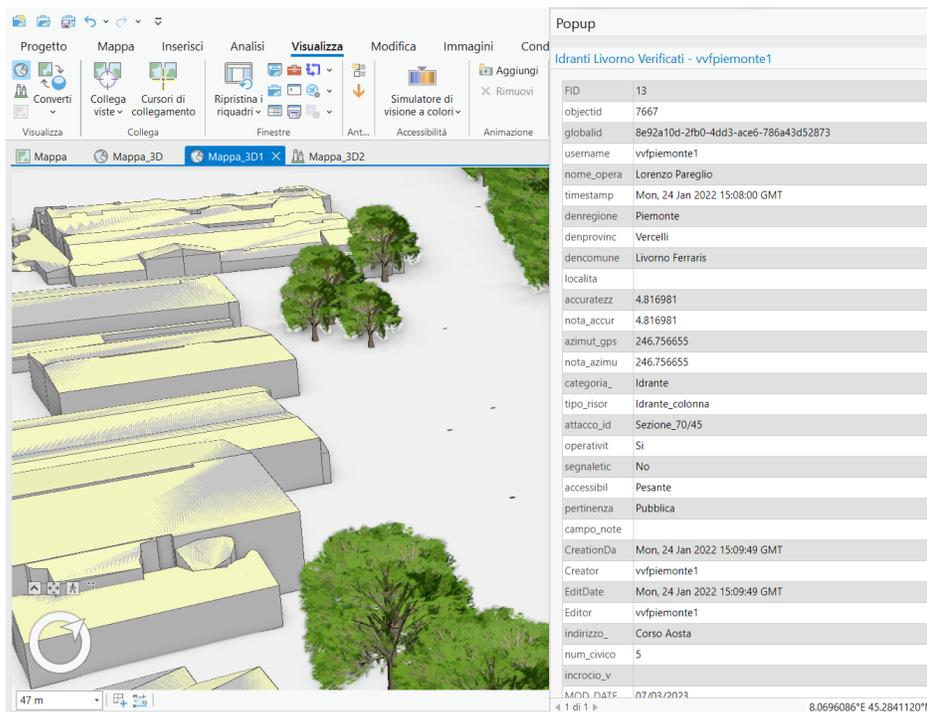


Figura 11.6 ArcGis Pro – Verifica dell'indirizzo del singolo edificio interrogandone il 3D

I Vigili acquisiscono i dati sugli idranti dai comuni o da Enti. Queste informazioni, opportunamente verificate, possono essere importate su ArcGis e memorizzate anche offline. Si riporta la rete acquedottistica e gli idranti, elementi puntuali, in Figura 11.7 e Figura 11.8.



Figura 11.7 ArcGIS Pro – Gli idranti e la rete acquedottistica riportati nel 3D



Progetto Mappa Inserisci Analisi Visualizza Modifica Immagini Cond

Converti Collega viste Cursori di collegamento Ripristina i riquadri Finestre Ant... Accessibilità Animazione

Mappe: Mappa, Mappa_3D, Mappa_3D1, Mappa_3D2

Pop-up

Idranti Livorno Verificati - vvfpiemonte1

FID	13
objectid	7667
globalid	8e92a10d-2fb0-4dd3-ace6-786a43d52873
username	vvfpiemonte1
nome_opera	Lorenzo Pareglio
timestamp	Mon, 24 Jan 2022 15:08:00 GMT
denregione	Piemonte
denprovinc	Vercelli
dencomune	Livorno Ferraris
localita	
accuratezz	4.816981
nota_accur	4.816981
azimut_gps	246.756655
nota_azimu	246.756655
categoria_	Idrante
tipo_risor	Idrante_colonna
attacco_id	Sezione_70/45
operativit	Si
segnaletic	No
accessibil	Pesante
pertinenza	Pubblica
campo_note	
CreationDa	Mon, 24 Jan 2022 15:09:49 GMT
Creator	vvfpiemonte1
EditDate	Mon, 24 Jan 2022 15:09:49 GMT
Editor	vvfpiemonte1
indirizzo_	Corso Aosta
num_civico	5
incrocio_v	
MOD_DATE	07.03.2023

47 m 1 di 1 8.0696086°E 45.2841120°N

Figura 11.8 ArcGIS Pro – Gli idranti verificati dai Vigili del fuoco

Una volta allarmate e coordinate le unità di intervento adeguate, l'informazione viene trasmessa agli operatori che agiscono sul territorio.

Dato che potrebbero essere coinvolti Vigili del fuoco volontari oppure operatori che non conoscono a sufficienza il luogo di intervento, le informazioni da trasmettere devono essere il più possibile veloci, esaustive e dettagliate. Questa necessità può essere soddisfatta se, oltre alle informazioni fornite dalla sala operativa, il singolo operatore può visualizzare le elaborazioni dei dati ad alta risoluzione nell'applicativo online che utilizza durante gli interventi.

11.5 Gestione e manutenzione della vegetazione

Ogni singolo albero estratto dalla classificazione di ENVI LiDAR ha gli attributi di altezza ed estensione della chioma, da queste informazioni si può comprendere quali siano le aree a concentrazione maggiore di alberi e dunque da sorvegliare nel caso di intensi temporali o raffiche di vento.

I Vigili già attualmente conducono analisi specifiche sulle aree a maggior presenza vegetazionale.

In aggiunta, classificando la bassa vegetazione anche con ENVI LiDAR, si potrà comprendere quali siano le aree con maggiore presenza di vegetazione e dunque necessitanti di maggiore attenzione da parte dei vigili del fuoco e dalla protezione civile locale, perché incendiabili più facilmente.

Disporre delle informazioni sulla tipologia, sullo stato delle radici e sulle malattie degli alberi, consentirebbe all'ufficio tecnico di gestire in maniera più efficace gli interventi di manutenzione periodica.

Queste informazioni sono indispensabili in fase di pianificazione dell'emergenza e possono supportare la gestione e gli interventi sul verde urbano, in quanto forniscono agli operatori maggiore cognizione del territorio.

In Figura 11.9 si riportano le informazioni attualmente note sugli alberi.

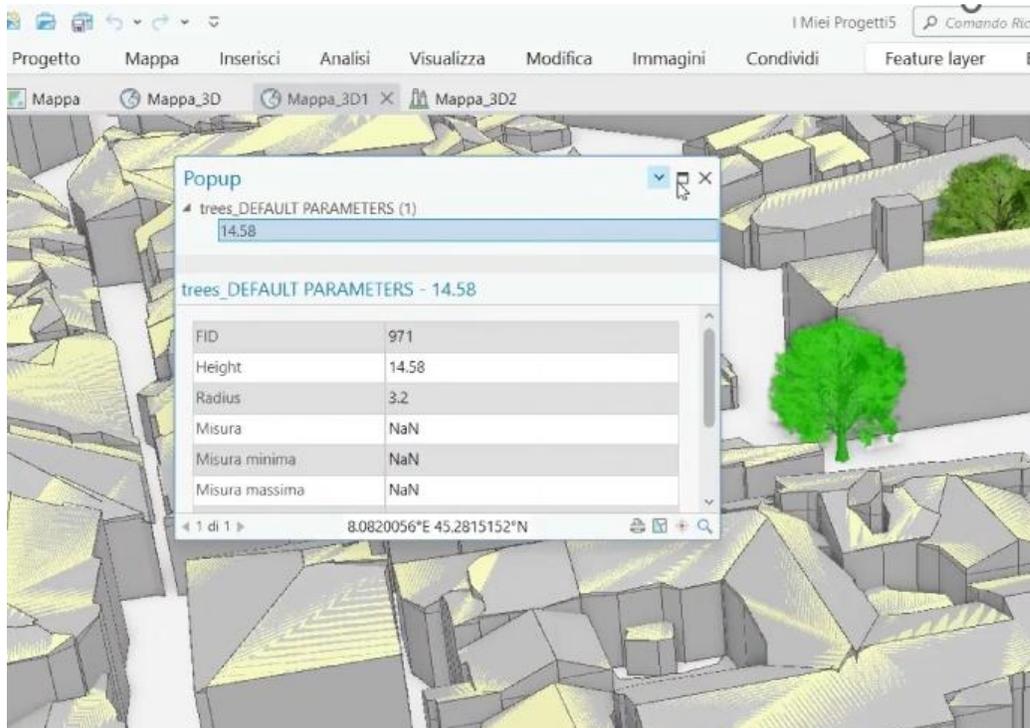


Figura 11.9 ArcGIS Pro – Le informazioni degli alberi a disposizione dei Vigili del fuoco

12 Informazione alla popolazione

Il sostegno fornito dai dati ad alta risoluzione nell'aggiornamento del Piano di Protezione Civile potrebbe essere vano in assenza di informazione alla popolazione.

L'informazione è infatti uno strumento fondamentale per la gestione del rischio sul territorio, in quanto una persona informata è consapevole e può agire in modo appropriato in caso di emergenza [96].

Per tale ragione, si ritiene opportuno la distribuzione di opuscoli alla popolazione e l'organizzazione di una giornata informativa per la comunità di Livorno Ferraris e del circondario.

Il modello 3D si potrà mettere a disposizione della popolazione attraverso app web interattive, dove potranno caricarsi i layer delle aree di emergenza.

13. Conclusioni e sviluppi futuri

Questa tesi ha fornito una serie di possibili applicazioni dei dati ad alta risoluzione, focalizzandosi sulla necessità di rendere i dati interoperabili, facilmente gestibili ai vari livelli e disponibili a tutti gli Enti coinvolti durante un'emergenza.

L'acquisizione e il processing di un dataset ad alta risoluzione nel comune di Livorno Ferraris trova applicabilità nell'integrazione del SIT comunale e nelle attività di pianificazione comunali e intercomunali di situazioni di emergenza, fornendo informazioni di dettaglio per la definizione di approcci innovativi nelle attività di protezione civile.

Infatti, il comune assume un ruolo strategico nel contesto territoriale, per la presenza di una stazione dei Carabinieri, del distaccamento del Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco e della ferrovia, che conferiscono al comune un ruolo nevralgico nell'intera zona del vercellese occidentale ai confini con le province di Torino e Alessandria.

Inoltre, Livorno Ferraris può supportare eventuali comuni limitrofi in emergenza, disponendo di ampie aree, importanti risorse e servizi quali: area di ammassamento soccorritori e risorse, aree di attesa e centri di ricovero della popolazione, area di raccolta del bestiame, campo base dei Vigili del fuoco e associazioni prontamente attivabili.

In questo lavoro di tesi, sono state individuate le aree idonee a svolgere questa funzione, con il supporto dei dati ad alta risoluzione.

Per associare i punti agli elementi della realtà rilevata, la nuvola di punti è stata classificata attraverso l'impiego di diversi software, confrontando i risultati ottenuti e descrivendo le differenti metodologie operative adottate. L'algoritmo di classificazione

è stato opportunatamente calibrato e validato, classificando manualmente la nuvola di punti laddove l'algoritmo non restituiva risultati veritieri e validi.

Inoltre, dalla classificazione della nuvola di punti su ENVI LiDAR è possibile estrarre degli shape file con gli attributi:

- altezza minima, massima e caratteristiche della copertura per gli edifici;
- estensione e altezza massima degli alberi.

Questi shape file possono essere implementati nel SIT comunale per la pianificazione territoriale e trovano utilità nelle attività dei vigili del fuoco, che potranno decidere il tipo di mezzo e le attrezzature da impiegare nei diversi contesti di intervento.

Infatti, le scelte in emergenza sono più immediate se si dispone di un'ortofoto ad alta risoluzione, in cui è possibile distinguere l'edificato e le strade con informazioni metriche dettagliate.

A seguito di elaborazioni sul DSM e sul DTM, si è restituita l'altezza dei singoli edifici. Queste informazioni possono essere caricate nel SIT comunale, con cui l'ufficio tecnico potrà svolgere l'attività di analisi e pianificazione territoriale.

Considerata la tendenza sempre più marcata al manifestarsi di eventi di pioggia intensi e concentrati, è utile poter riprodurre nel modello tridimensionale gli effetti sul territorio.

Infatti, la mesh dei livelli d'acqua che risulterebbe da studi idrologici e idraulici di settore, potrebbe essere unita al modello 3D qui generato, consentendo di visualizzare le aree e gli edifici che risultano sommersi dall'acqua in diversi scenari, effettuare delle misurazioni, sezioni e profili.

In aggiunta, è possibile effettuare misure sulle nuvole di punti, che restituiscono un dettaglio informativo prima sconosciuto sui punti critici, come per i sottopassi.

L'esempio di Livorno Ferraris acquisisce valenza metodologica e mostra la potenzialità degli strumenti a disposizione per il processing di dataset ad alta risoluzione, che richiede però attente fasi di calibrazione e di validazione dei risultati, in quanto gli algoritmi restituiscono degli errori di classificazione.

In questa tesi, la procedura di classificazione è stata validata su porzioni della nuvola di punti, infatti sarebbe richiesto un tempo eccessivo per effettuarla in maniera completa.

I processi svolti e la metodologia adoperata in questo lavoro di tesi hanno restituito dei risultati validi, per cui questi sono utilizzabili anche in altri casi studio.

Inoltre, da questo lavoro di tesi è sorta la possibilità di confronto tra l'ufficio tecnico del comune di Livorno Ferraris e il Distaccamento provinciale dei Vigili del fuoco. Questo ha evidenziato alcune carenze comunicative, tra cui fa specie la mancata conoscenza da parte del comune dell'individuazione del campo sportivo come campo base di dislocazione delle forze regionali dei Vigili del fuoco.

L'auspicio è che i risultati di questo lavoro siano il punto di inizio di approfondimenti successivi, che vadano nella direzione di un coinvolgimento attivo e coordinato tra i vari Enti.

Nel futuro, è infatti probabile un utilizzo sempre maggiore dei dati ad alta risoluzione nell'aggiornamento dei SIT e dei Piani di Protezione Civile e in campi specifici come il soccorso e le ricerche a seguito di terremoti.

Attualmente non è facile acquisire dei dataset ad alta risoluzione in ogni contesto, essendo il volo molto costoso, ma nel prossimo futuro l'evoluzione tecnologica potrà rendere la spesa più accessibile ai vari Enti.

Gli sforzi futuri saranno rivolti a rendere i dati visualizzabili e accessibili in maniera semplice, ad esempio attraverso delle piattaforme di visualizzazione del modello tridimensionale.

Inoltre, i modelli tridimensionali necessitano di revisioni periodiche, per cui si approfondirà l'impiegabilità del mobile mapping, dei droni e delle foto in tempo reale per l'aggiornamento.

Riferimenti bibliografici

[1] CSI Management Srl Roma, 2017, Structure from Motion, <http://www.csi.roma.it/SFM.aspx> (consultato 20 gennaio 2023)

[2] Vertical Eye - Drone Solutions, 2020, Fotogrammetria, <https://verticaleye.it/Fotogrammetria> (consultato 20 gennaio 2023)

[3] Istat, Popolazione residente al 1° gennaio 2022 Livorno Ferraris, <http://dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=18540> (consultato 21 gennaio 2023)

[4] Comune di Livorno Ferraris - Scheda del comune, dati geografici <https://www.comune.livornoferraris.vc.it/it-it/vivere-il-comune/scheda> (consultato 21 gennaio 2023)

[5] Geo Portale Piemonte – catalogo, Limite regionale, 2011, https://www.geoportale.piemonte.it/geonetwork/srv/ita/catalog.search#/metadata/r_piemon:0c65110b-a9bb-4572-a14f-dbdca1d2becd (consultato 21 gennaio 2023)

[6] Geo Portale Piemonte – catalogo, Limiti comunali, 2011, https://www.geoportale.piemonte.it/geonetwork/srv/ita/catalog.search#/metadata/r_piemon:bfa53424-61b6-4ad2-b5d2-2107bc24b926 (consultato 21 gennaio 2023)

[7] Geo Portale Piemonte – catalogo, Limiti provinciali, 2011, https://www.geoportale.piemonte.it/geonetwork/srv/ita/catalog.search#/metadata/r_piemon:701bd8af-3719-4067-b78f-53e6e9868e6f (consultato 21 gennaio 2023)

[8] Regione Lombardia, Sistema Informativo Territoriale (SIT), <https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/servizi-e-informazioni/enti-e-operatori/territorio/sistema-informativo-territoriale-sit> (consultato 21 gennaio 2023)

[9] Migliaccio F. , Carrion D, Sistemi Informativi Territoriali - Principi e applicazioni, Torino, UTET Università, 2016.

[10] Technical Design S.r.l., 1990, GisMaster, ver. 6.97,
<https://www.technicaldesign.it/NewSite/index.php/gismaster-3/>
(consultato 22 gennaio 2023)

[11] PRGC Arkistudio società di progettazione s.r.l., Piano regolatore Generale
Comunale Livorno Ferraris, 2016 (consultato 23 gennaio 2023)

[12] Regione Piemonte, Piani comunali di protezione civile – scheda
informativa, [https://www.regione.piemonte.it/web/temi/protezione-civile-difesa-
suolo-opere-pubbliche/protezione-civile/programmazione-pianificazione/piani-
comunali-protezione-civile](https://www.regione.piemonte.it/web/temi/protezione-civile-difesa-suolo-opere-pubbliche/protezione-civile/programmazione-pianificazione/piani-comunali-protezione-civile) (consultato 23 gennaio 2023)

[13] Prociv Onlus Augustus a Busto Arsizio, Piano comunale di protezione
civile Livorno Ferraris, Vers. 1.1 2005

[14] DigiSky, About-us, <https://www.digisky.it/about-us/> (consultato 24
gennaio 2023)

[15] Monteforte F., 2021, Politecnico di Torino, Realizzazione di un modello
3D urbano ad altissima risoluzione: l'esempio del Comune di Livorno Ferraris [tesi di
laurea magistrale]

[16] Perini L., Luciani P., Lorito S. and Calabrese L., 2017, Regione Emilia-
Romagna, Il rilievo LiDAR - Che cos'è il LIDAR, [https://ambiente.regione.emilia-
romagna.it/it/geologia/geologia/costa/il-rilievo-lidar](https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/costa/il-rilievo-lidar) (consultato 25 Gennaio 2023)

[17] Corradeghini P., 2017, Una sezione da una nuvola di punti, 3D METRICA,
<https://3dmetrica.it/sezione-da-nuvola-di-punti> (consultato 25 gennaio 2023)

[18] Monteforte F., 2021, Realizzazione di un modello 3D urbano ad altissima
risoluzione: l'esempio del Comune di Livorno Ferraris, pp 37-39 [tesi di laurea
magistrale]

[19] KAARTA ® Stencil 2 con tablet per controllo remoto - © KAARTA, 2021; Fonte immagine: <https://www.kaarta.com/products/stencil-2-for-rapid-long-range-mobile-mapping/>; (consultato 26 gennaio 2023)

[20] LIDAR Velodyne Puck LITE - © Velodyne LiDAR, 2021. Fonte immagine: <https://velodynelidar.com/products/puck-lite/>; (consultato 26 gennaio 2023)

[21] Ricevitore GPS EMLID Reach RS2 – © EMLID, 2021 Fonte immagine: <https://www.dronihub.it/prodotto/emlid-reach-rs2/>; (consultato 26 gennaio 2023)

[22] Perini L., Luciani P., Lorito S. and Calabrese L, 2017, Regione Emilia-Romagna, Il rilievo LiDAR - Cosa si ottiene attraverso il rilievo LIDAR, <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/costa/il-rilievo-lidar> (consultato 27 gennaio 2023)

[23] QGIS, 6 luglio 2002, ver. 3.22.11 “Bialowieza”, <https://www.qgis.org/it/site> (consultato 27 gennaio 2023)

[24] Agisoft LLC, Agisoft Metashape, ver. 1.7.5 build (64 bit), <https://www.agisoft.com> (consultato 28 gennaio 2023)

[25] Telecom ParisTech and EDF, CloudCompareStereo, ver. 2.13 alpha [Windows 64-bit], <https://www.cloudcompare.org>

[26] ENVI LiDAR, <https://www.13harrisgeospatial.com/Software-Technology/ENVI> (consultato 28 gennaio 2023)

[27] Technical Design S.r.l., 1990, GisMaster, ver. 6.97, <https://www.technicaldesign.it/NewSite/index.php/gismaster-3> (consultato 30 gennaio 2023)

[28] ESRI Italia, ArcGIS Pro, <https://www.esriitalia.it/prodotti/la-nostra-offerta/piattaforma-esri/arcgis-pro> (consultato 30 gennaio 2023)

[29] Monteforte F., 2021, Realizzazione di un modello 3D urbano ad altissima risoluzione: l'esempio del Comune di Livorno Ferraris, pp. 41-42 [tesi di laurea magistrale]

[30] Monteforte F., 2021, Realizzazione di un modello 3D urbano ad altissima risoluzione: l'esempio del Comune di Livorno Ferraris, pp. 48-50 [tesi di laurea magistrale]

[31] Monteforte F., 2021, Realizzazione di un modello 3D urbano ad altissima risoluzione: l'esempio del Comune di Livorno Ferraris, pp. 167-168 [tesi di laurea magistrale]

[32] Agisoft LLC, 2022, CloudCompare v2.6.1 - User manual, Segment, pag. 46

[33] Agisoft LLC, 2022, CloudCompare v2.6.1 - User manual, Cross section, pag. 118

[34] Agisoft LLC, 2022, Agisoft Metashape User Manual - Professional Edition Version 1.8, Filter points, pag. 124

[35] Agisoft LLC, 2022, Agisoft Metashape User Manual - Professional Edition, Version 1.8 , Filter by class, pag. 123

[36] Meloni P., 2019, Metashape: la nuova frontiera della fotogrammetria, <https://www.sharemind.eu/wordpress/metashape> (consultato 1 febbraio 2023)

[37] Agisoft LLC, 2022, Agisoft Metashape User Manual : Professional Edition, vers. 1.8, Classificazione automatica dei punti a terra, pag. 126

[38] Agisoft LLC, 2022, Agisoft Metashape User Manual : Professional Edition, vers. 1.8, pag. 127

[39] Agisoft LLC, 2022, Agisoft Metashape User Manual : Professional Edition, vers. 1.8, pp. 127 -128

[40] L3Harris Geospatial documentation center, ENVI LiDAR Production Parameters Tab, <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/productionparameterstab.html> (consultato 1 febbraio 2023)

[41] Wang, Y., Chen, Q., Liu, L., Li, X., Sangaiah, A.K., Kai, L. (2018) Systematic Comparison of Power Line Classification Methods from ALS and MLS Point Cloud Data. *In Remote Sens.* (10(8), 1222). MDPI.

[42] Jwa Y., Sohn G., Kim H. B. (2009), Automatic 3D powerline reconstruction using airborne lidar data. *In: Bretar F, Pierrot-Deseilligny M, Vosselman G (Eds) Laser scanning 2009.* IAPRS.

[43] Paolo Corradeghini, DSM , <https://3dmetrica.it/dtm-dsm-dem/> (consultato 2 febbraio 2023)

[44] Paolo Corradeghini, DTM, <https://3dmetrica.it/dtm-dsm-dem/> (consultato 2 febbraio 2023)

[45] Rossi P. 2018, Mesh, <https://3dmetrica.it/fotogrammetria-con-photoscan-parte-7-mesh-e-texture/> (consultato 2 febbraio 2023)

[46] Agisoft LLC, 2022, Agisoft Metashape User Manual : Professional Edition, vers. 1.8, pp. 43-44

[47] Rossi P. 2018 Texture <https://3dmetrica.it/fotogrammetria-con-photoscan-parte-7-mesh-e-texture/> (consultato 3 febbraio 2023)

[48] Decreto legislativo n. 1 del 2 gennaio 2018 – Codice della Protezione Civile, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 17 del 22 gennaio 2018, entrata in vigore 6 febbraio 2018. Successive modifiche introdotte dal Decreto Legislativo n. 4 del 6

febbraio 2020. Fonte: <https://www.protezionecivile.gov.it/en/normativa/decreto-legislativo-n-1-del-2-gennaio-2018--codice-della-protezione-civile>

[49] Dipartimento della Protezione Civile, Indicazioni operative per l'individuazione dei Centri operativi di coordinamento e delle Aree di emergenza, 31 marzo 2015, <https://www.protezionecivile.gov.it/it/normativa/indicazioni-operative-lindividuazione-dei-centri-operativi-di-coordinamento-e-delle-aree-di-emergenza>

[50] Direttiva del 30 aprile 2021 "Indirizzi per la predisposizione dei piani di protezione civile ai diversi livelli territoriali" e linee guida ai piani comunali di protezione civile edite dal Dipartimento della Protezione Civile. Fonte: <https://www.protezionecivile.gov.it/it/normativa/direttiva-del-30-aprile-2021-0>

[51] Il Metodo Augustus, DPC Informa "Periodico Informativo del Dipartimento della Protezione Civile n. 4 maggio-giugno 1997

[52] SOGIN, centrale di Trino, <https://www.sogin.it/it/chiusuradelciclonucleare/sitinucleariitaliani/centraleditrino> (consultato 4 febbraio 2023)

[53] SOGIN, Impianto EUREX di Saluggia, <https://www.sogin.it/it/chiusuradelciclonucleare/sitinucleariitaliani/impiantoeurexsaluggia/Pagine/default.aspx> (consultato 5 febbraio 2023)

[54] Piano di emergenza esterna EUREX-SO.G.I.N. Saluggia (Vc), edizione settembre 2019 e allegati , area di disattivazione, Scenario di incidente più gravoso, p.93.http://www.prefettura.it/FILES/AllegatiPag/1151/PEE_EUREX_SOGIN_SALUGGIA.pdf

[55] Dipartimento della Protezione Civile, Direttive per l'informazione preventiva e in caso di emergenza per tutte le pianificazioni di competenza dei Prefetti per la gestione delle emergenze radiologiche e nucleari previste dall'articolo 197, comma 1, lettera b, del Decreto legislativo 101/2020,

<https://www.protezionecivile.gov.it/it/normativa/direttive-linformazione-preventiva-e-caso-di-emergenza-tutte-le-pianificazioni-di-competenza-dei-prefetti-la-gestione-delle-emergenze-radiologiche-e-0>

[56] Arpa Piemonte, Trasporti combustibile nucleare irraggiato - Risultati dei monitoraggi radiologici straordinari dei trasporti di combustibile nucleare irraggiato dal sito nucleare di Saluggia, <https://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/radioattivita/siti-nucleari/saluggia/monitoraggi-radiologici-straordinari/trasporti-combustibile-nucleare-irraggiato> (consultato 5 febbraio 2023)

[57] Arpa Piemonte, Falda acquifera superficiale - Risultati del monitoraggio radiologico straordinario della falda acquifera superficiale presso il sito nucleare di Saluggia, <https://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/radioattivita/siti-nucleari/saluggia/monitoraggi-radiologici-straordinari/falda-acquifera-superficiale> (consultato 6 febbraio 2023)

[58] Regione Piemonte - Gli impianti nucleari piemontesi, Deposito Avogadro, <https://www.regione.piemonte.it/web/temi/ambiente-territorio/ambiente/rischio-nucleare/gli-impianti-nucleari-piemontesi#:~:text=Il%20deposito%20Avogadro%20della%20societ%C3%A0,alla%20fine%20degli%20anni%20'50.>

[59] Prefettura - ufficio territoriale del governo di Asti, Piano di comunicazione programma trasporti nucleari, Scenari di incidente http://www.prefettura.it/asti/contenuti/Piano_di_comunicazione_trasporti_nucleari-19332.htm (consultato 7 febbraio 2023)

[60] Prefettura - ufficio territoriale del governo di Asti, Piano di comunicazione programma trasporti nucleari, Informazione alla popolazione, http://www.prefettura.it/asti/contenuti/Piano_di_comunicazione_trasporti_nucleari-19332.htm (consultato 7 febbraio 2023)

[61] Bollettino Ufficiale n. 33 del 16 / 08 / 2018 D.G.R. 30 Luglio 2018, n. 59-7320 Dlgs 1/2018. Approvazione del nuovo disciplinare riguardante "Il Sistema di Allertamento e la risposta del sistema regionale di protezione civile". Modifica alla DGR 30 luglio 2007, n. 46-6578. <http://www.regione.piemonte.it/governo/bollettino/abbonati/2018/33/siste/00000049.htm> (consultato 7 febbraio 2023)

[62] Ufficio tecnico Livorno Ferraris - Server comunale, Comunicazione alla Prefettura dei danni subiti da privati cittadini e imprese, Evento atmosferico di forte intensità del 15 ottobre 2000

[63] Ufficio tecnico Livorno Ferraris - Server comunale, Comunicazione alla Prefettura dei danni subiti da privati cittadini e imprese, Evento atmosferico di forte intensità del 21 gennaio 2005

[64] Ufficio tecnico Livorno Ferraris, Server comunale, , Comunicazione alla Prefettura dei danni subiti da privati cittadini e imprese, Eventi atmosferici di forte intensità del 1° agosto 2008 e del 15 agosto 2008

[65] European Severe Storms, European Severe Weather Database ESWD, Evento atmosferico di forte intensità 06/06/2009 <https://eswd.eu/cgi-bin/eswd.cgi> (consultato 7 febbraio 2023)

[66] Regione Piemonte, Linee guida per la valutazione del rischio industriale nell'ambito della pianificazione territoriale, 2010, p. 126 http://www.regione.piemonte.it/governo/bollettino/abbonati/2010/08/attach/dgr_1335_9_930_22022010_a1.pdf

[67] ISPRA, Inventario Nazionale degli stabilimenti a rischio di incidente rilevante, https://www.rischioindustriale.isprambiente.gov.it/seveso-query-105/inventario_listatolist.php (consultato 8 febbraio 2023)

[68] Arpa Piemonte, Inventario degli stabilimenti a rischio di incidente rilevante, 2022, <http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/rischi-industriali/rischio-di-incidente-rilevante/tipologie-di-stabilimenti-a-rischio-di-incidente-rilevante> (consultato 8 febbraio 2023)

[69] Prociv Onlus Augustus a Busto Arsizio, Piano comunale di protezione civile Livorno Ferraris, Vers. 1.1 2005, p. 10

[70] Regione Piemonte, Statistiche incidenti stradali in Piemonte, <https://www.regione.piemonte.it/web/amministrazione/finanza-programmazione-statistica/statistica/statistiche-incidenti-stradali-piemonte> (consultato 8 febbraio 2023)

[71] Prociv Onlus Augustus a Busto Arsizio, Allegati del Piano comunale di protezione civile Livorno Ferraris, Vers. 1.1 2005, p. 10

[72] Istat, Densità abitative, <http://dati.istat.it/Index.aspx> (consultato 8 febbraio 2023)

[73] Istat, censimento della popolazione, <http://dati.istat.it/index.aspx?queryid=1602#> (consultato 8 febbraio 2023)

[74] Mazzoglio, Gigli, Politecnico di Torino, Download e processing di un dataset di popolazione in formato raster

[75] Dipartimento della Protezione Civile, Aree di emergenza, Indicazioni operative per l'individuazione dei Centri operativi di coordinamento e delle Aree di emergenza <https://www.protezionecivile.gov.it/it/normativa/indicazioni-operative-lindividuazione-dei-centri-operativi-di-coordinamento-e-delle-aree-di-emergenza> (consultato 10 febbraio 2023)

[76] Dipartimento della Protezione Civile, « Aree di emergenza e centri operativi di coordinamento », <https://www.protezionecivile.gov.it/it/normativa/indicazioni-operative->

lindividuazione-dei-centri-operativi-di-coordinamento-e-delle-aree-di-emergenza,
(consultato 13 febbraio 2023)

[77] Dipartimento Protezione Civile, « Aree di attesa della popolazione », <https://www.protezionecivile.gov.it/it/glossario#accordionAPanel12> (consultato 13 febbraio 2023)

[78] Analist Group, Analist 2023 ver. 24.2.53.0

[79] Dipartimento Protezione Civile, « Area di ammassamento soccorritori e risorse », <https://www.protezionecivile.gov.it/it/glossario#accordionAPanel12> (consultato 15 febbraio 2023)

[80] Indirizzi per la progettazione e l'allestimento in sicurezza di un campo regionale d'accoglienza per la popolazione ed i soccorritori a seguito di eventi calamitosi. <https://www.regione.toscana.it/documents/10180/12196077/INDIRIZZI+D+I+SICUREZZA.pdf/f2c6bd09-4df7-4d36-b3be-f8a622c819cb> (consultato 23/02/2023)

[81] Dipartimento Protezione Civile, « Aree di accoglienza o di ricovero della popolazione », <https://www.protezionecivile.gov.it/it/glossario#accordionAPanel12> (consultato 06/02/2023)

[82] Ovest Sesia – Associazione d'Irrigazione, <https://www.ovestsesia.it/>

[83] Direttiva del 30 aprile 2021 “Indirizzi per la predisposizione dei piani di protezione civile ai diversi livelli territoriali” e linee guida ai piani comunali di protezione civile edite dal Dipartimento della Protezione Civile, Centri operativi di coordinamento, <https://www.protezionecivile.gov.it/it/normativa/direttiva-del-30-aprile-2021-0> (consultato 14 febbraio 2023)

[84] Migliaccio F. , Carrion D, Sistemi Informativi Territoriali - Principi e applicazioni, Torino, UTET Università, 2016. *Cap. Acquisizione dei dati spaziali per un sit*, p. 123

[85] GisMaster Protezione Civile,
<https://www.technicaldesign.it/NewSite/index.php/moduli-software/protezione-civile/>
(consultato 15 febbraio 2023)

[86] Documentation QGIS 2.18, Plugin Statistiche zonali, 2019,
https://docs.qgis.org/2.18/it/docs/user_manual/plugins/plugins_zonal_statistics.html

[87] Politecnico di Milano, Di Bella F., HEC-HMS ed HEC-RAS

[88] HEC-RAS, <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

[89] HEC-HMS and HEC-RAS, http://www.ruwa.it/site/file/rsnews-news/B_software_HEC_s.pdf

[90] EPA, Storm Water Management Model (SWMM),
<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2015/07/14/15G00121/sg>

[91] Marino P. , Modellazione idraulica della rete di drenaggio urbano della città di Torino - Caso studio di un bacino idrografico della città 2022, [tesi di laurea magistrale]

[92] Dipartimento dei vigili del fuoco del soccorso pubblico e della difesa civile - Corpo nazionale dei vigili del fuoco, Prevenzione,
<https://www.vigilfuoco.it/asp/page.aspx?IdPage=363> (consultato 23/02/2023)

[93] Dipartimento dei vigili del fuoco del soccorso pubblico e della difesa civile - Corpo nazionale dei vigili del fuoco, Elenco attività soggette,
<https://www.vigilfuoco.it/asp/AttivitaSoggetteElenco.aspx>

[94] Ministero dell'interno Dipartimento dei Vigili del Fuoco del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile, Il soccorso alle persone disabili: indicazioni per la gestione dell'emergenza,

[95] Ministero dell'interno Dipartimento dei Vigili del Fuoco del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile, Disabilità sensoriale,
https://www.vigilfuoco.it/allegati/biblioteca/legge_disabili.pdf

[96] Dipartimento della Protezione Civile Presidenza del Consiglio dei Ministri, Informazione alla popolazione,
<https://www.protezionecivile.gov.it/it/approfondimento/scheda-informativa>