

SALONE DEL RESTAURO

Ferrara Expo

Via della Fiera, 11



12, 13 e 14 MAGGIO 2026

Analisi dei borghi storici dell'Italia centrale: integrazione di tecniche geomatiche e strategie GIS per la valutazione post-sisma

Ing. Francesco Di Stefano, PhD

Ricercatore Post-Doc

DICEA – Università Politecnica delle Marche



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE

DICEA
DIPARTIMENTO INGEGNERIA
CIVILE EDILE ARCHITETTURA
18 | 22 23 | 27 ECCELLENZA

GAP
GEOMATICS
APPLICATIONS &
PROCESSING

PRESENTAZIONE PROFESSIONISTA



GEOMATICS
APPLICATIONS &
PROCESSING



DIPARTIMENTO
INGEGNERIA
CIVILE EDILE
ARCHITETTURA
18|22 23|27 ECCELLENZA



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE



gap.geomatics@gmail.com

Building
and
Environmental
engineering



Agronomy
Forestry



Built
Cultural
Heritage



Informatics
Engineering



Ing. Francesco Di Stefano

f.distefano@staff.univpm.it

francy89disty@gmail.com



Ordine Ingegneri di Ancona
matr. n. A4153

classe 1989

2016 – Laurea in Ingegneria Edile-Architettura - UNIVPM

2017 – Abilitazione alla professione di Ingegnere Civile

2018 –2021 – Dottorato in Geomatica - UNIVPM

dal 2022 – Ricercatore Post-Doc in Geomatica - UNIVPM

2022 – Abilitazione all'ingegnamento accademico come professore II fascia – Geomatica (CEAR-04/A)

dal 2022 – Supporto alla didattica corso Topografia - UNIVPM

Borghi Storici Italiani

PATRIMONIO CULTURALE TANGIBILE
DA CONSERVARE E TUTELARE

Direttive UNESCO e ICOMOS
per la protezione del patrimonio
culturale di fronte alle calamità naturali



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



ICOMOS
International Council
on Monuments and
Sites

LE NOSTRE RADICI.
IL NOSTRO FUTURO.

PROTEGGERE OGGI
PER TRAMANDARE DOMANI.



TERREMOTI



ALLUVIONI



FRANE



INCENDI



EVENTI
ESTREMI

CONTRIBUTO AGLI
OBIETTIVI DI SVILUPPO
SOSTENIBILE (ONU)



CITTÀ E COMUNITÀ
SOSTENIBILI

Rendere le città e gli insediamenti
umani inclusivi, sicuri, duraturi
e sostenibili.



LOTTA CONTRO
IL CAMBIAMENTO
CLIMATICO

Adottare misure urgenti per
combattere il cambiamento
climatico e le sue conseguenze.



PREVENZIONE

Ridurre i rischi e rafforzare
la resilienza dei borghi storici



PIANIFICAZIONE

Integrare la gestione del rischio
nei piani di tutela e sviluppo



CONSERVAZIONE

Tutela dell'autenticità, integrità
e valore universale eccezionale



PARTECIPAZIONE

Coinvolgere le comunità locali
nella salvaguardia del patrimonio



SOSTENIBILITÀ

Promuovere interventi sostenibili
e rispettosi dei contesti storici

PRINCIPI FONDAMENTALI UNESCO E ICOMOS

INTRODUZIONE

- vulnerabilità sismica dei borghi storici
- limiti e gap della PA nella gestione dei dati
- schede AeDES

METODOLOGIA

- GEO-AI
- caso studio
- 1. acquisizione geomatica integrata
- 2. integrazione e gestione in GIS
- 3. estrazione automatica dei parametri edilizi

RISULTATI

CONCLUSIONI

SVILUPPI FUTURI

Analisi dei borghi storici dell'Italia centrale: integrazione di tecniche geomatiche e strategie GIS per la valutazione post-sisma

Parole chiave:

- Borghi storici
- Rilievo geomatico, GIS, GEO-AI
- Gestione multi-data
- Analisi post-sisma

INTRODUZIONE: vulnerabilità sismica dei borghi storici

CONOSCENZA E VALUTAZIONE DEL RISCHIO



La mappa dei rischi dei comuni italiani
(aggiornata al 2018)



Grazie al lavoro congiunto di istituzioni pubbliche:



Istituto Nazionale
di Statistica



Istituto Nazionale
di Geofisica
e Vulcanologia



Istituto Superiore per la
Protezione e la Ricerca
Ambientale



È stata realizzata una prima **mappa dei rischi** dei comuni italiani tramite l'integrazione di dati e indicatori provenienti da diverse fonti istituzionali, per fornire un quadro aggiornato dell'esposizione ai rischi naturali.



La mappa è sviluppata su una piattaforma GIS (Geographic Information System) open-source, che gestisce e archivia dati e informazioni sulle diverse aree esposte a molteplici pericoli naturali.

NORME E STRUMENTI



NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Aggiornamento sostanziale delle **Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018)**, in linea con gli Eurocodici e con i progressi della scienza e della tecnologia.



Le norme disciplinano progettazione, esecuzione e collaudo delle opere per garantire la sicurezza pubblica ai livelli prestabiliti.



SCHEDA AeDES – AGIBILITÀ E DANNO NELL'EMERGENZA SISMICA

Utilizzata dal Dipartimento della Protezione Civile per il rilievo del danno, la definizione delle misure di emergenza e la **valutazione post-sismica**, e quindi della **vulnerabilità** degli edifici.

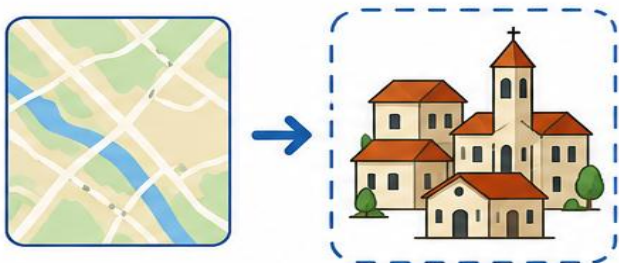


L'area colpita dal sisma viene analizzata tramite ispezioni visive da parte di tecnici qualificati, con valutazione esperta dei danni, della loro estensione e della possibilità di riparazione e ricostruzione.



INTRODUZIONE: limiti e gap della PA nella gestione dei dati

LIMITI DELLE MAPPE GIS COMUNALI



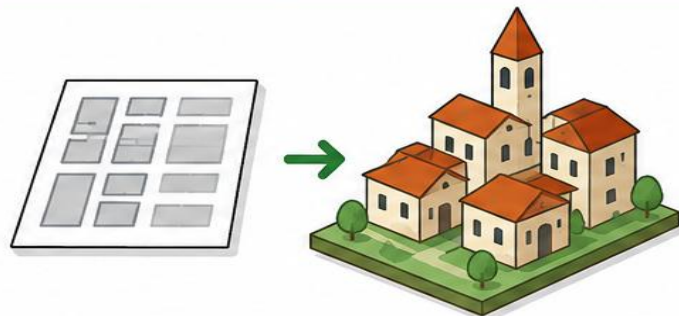
- Le mappe GIS open-source mostrano solo il livello comunale.
- Mancano dettagli sui singoli edifici.
- Nei piccoli borghi serve una mappa più precisa e collegata a quella nazionale.



OBIETTIVO

Creare GIS di dettaglio per gestire meglio territorio ed edifici.

RAPPRESENTAZIONE SOLO 2D



- Le mappe attuali rappresentano i rischi solo in 2D.
- Il modello 3D offre una visione più completa di edifici e contesto urbano.
- Strumenti geomatici (DSM, DTM) aiutano a creare modelli 3D accurati.



OBIETTIVO

Integrare modelli 3D per una rappresentazione più realistica del territorio.

INTEGRAZIONE DATI AeDES



- Le schede AeDES sono archiviate separatamente dalle mappe GIS.
- Spesso non sono collegate al sistema comunale.
- L'integrazione GIS migliora:
 - dettaglio delle informazioni;
 - rappresentazione delle vulnerabilità;
 - supporto alle decisioni.



OBIETTIVO

Unire e gestire dati diversi in modo rapido, preciso e affidabile.

METODOLOGIA: workflow

1. ACQUISIZIONE GEOMATICA INTEGRATA



UAV (drone)

Fotogrammetria SfM
Nuvole di punti 3D
ad alta risoluzione



TLS (Terrestrial Laser Scanner)



Rilievo laser scanner
ad alta densità



Immagini 360°



Ambienti virtuali rapidi
a supporto delle ispezioni



DATI ETEROGENEI

Nuvole di punti, immagini,
panoramiche, metadati

2. INTEGRAZIONE E GESTIONE IN GIS (QGIS)



Piattaforma open-source
per la gestione e integrazione
di dati eterogenei

Layer

- Edifici 3D
- DTM
- DSM
- Ortofoto
- Nuvole di punti
- AeDES
- Altri dati



Visualizzazione 2D/3D
e modelli del territorio
(DTM, DSM, 3D)



Integrazione di dati
da molteplici tecniche
e fonti



Condivisione,
interoperabilità
e scalabilità



Produzione di mappe
tematiche e analisi
multi-scala

3. GEO-AI: ESTRAZIONE AUTOMATICA DI PARAMETRI E ATTRIBUTI



GEO-AI

Metodologia automatica
per l'estrazione di parametri
utili alla valutazione della
vulnerabilità

NTC2018
AeDES



INFORMAZIONI GEOMETRICHE ESTRATTE

- 1** Numero di piani di ciascun edificio
- 2** Regolarità della forma in pianta
- 3** Posizione planimetrica dell'edificio rispetto al cluster
- 4** Presenza di edifici adiacenti con altezze diverse nel cluster, in relazione all'edificio esaminato

OUTPUT



Parametri geometrici e morfologici (numerici e qualitativi)



Attributi per la valutazione del rischio sismico (NTC2018; AeDES)

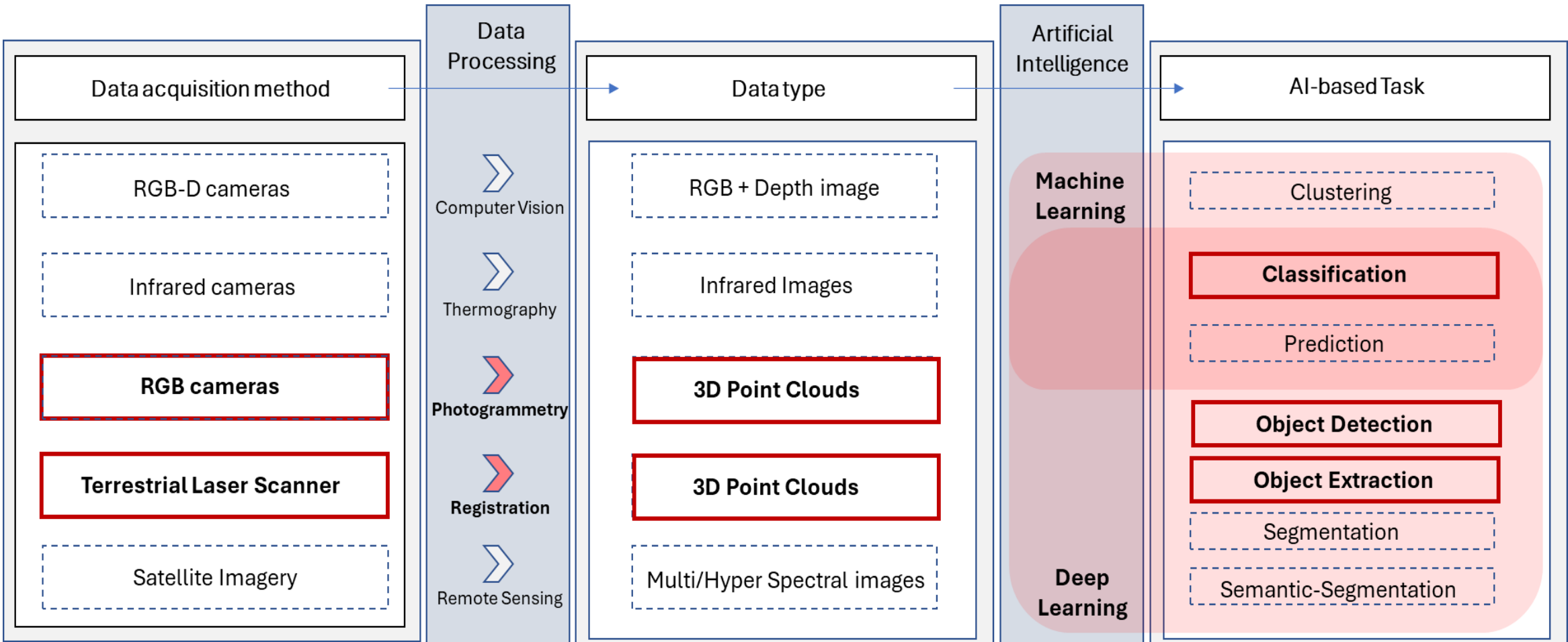


Database georiferito e interrogabile per analisi e reportistica

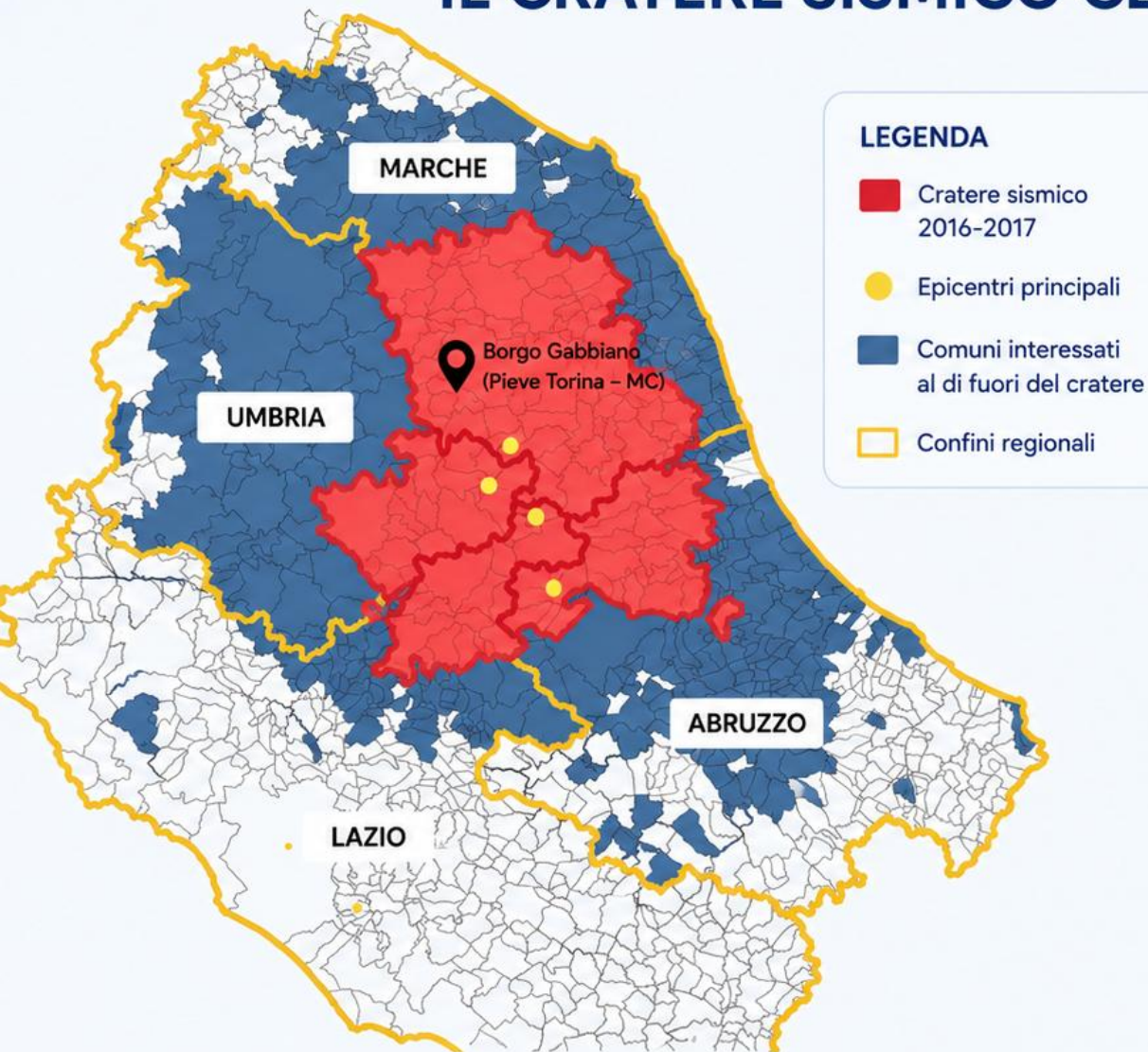


GEO-AI

GEO-AI: Geomatics and Artificial Intelligence



IL CRATERE SISMICO CENTRO ITALIA 2016-2017



140 COMUNI

coinvolti dal cratere sismico 2016-2017



4 REGIONI ITALIANE

Marche, Umbria, Abruzzo, Lazio



EVENTI SISMICI PRINCIPALI

24 agosto 2016 - 26-30 ottobre 2016 - 18 gennaio 2017

Esempi di danni agli edifici nel Borgo Gabbiano di Pieve Torina (MC)



Mappa del **cratere sismico dell'Italia** centrale a seguito dei terremoti **2016-2017**
(fonte: rapporto curato dall'Ufficio Speciale Ricostruzione, gennaio 2020)

1. ACQUISIZIONE GEOMATICA INTEGRATA

RILIEVO GNSS



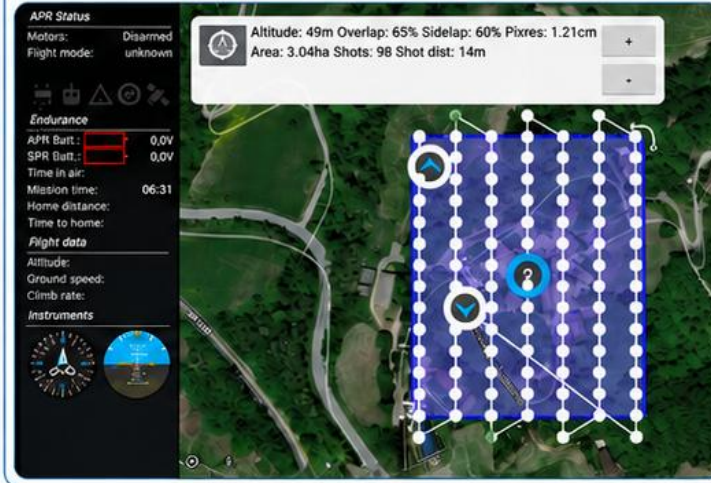
Tecnica: GNSS RTK
Strumento: Ricevitore GNSS
Output: Punti 3D georiferiti



RILIEVO UAV – FOTOGRAMMETRIA AEREA



Tecnica: Fotogrammetria UAV
Strumento: Drone + Camera
Output: Nuvola di punti densa



RILIEVO TLS + FOTO 360°



Tecnica: Laser Scanner Terrestre + Foto 360°
Strumento: TLS + Camera 360°
Output: Nuvola di punti ad alta densità + Texture fotografica



Nuvola di punti unificata (georeferenziata)

Integrazione multi-sorgente:

- GNSS
- UAV Fotogrammetria
- TLS + Foto 360

Output:
Nuvola di punti 3D unificata
georeferenziata e texturizzata



1. ACQUISIZIONE GEOMATICA INTEGRATA



Nuvola di punti unificata (UAV+TLS)
748.362.614 punti

2. INTEGRAZIONE E GESTIONE IN GIS



ORTHOPHOTO + BUILDING POLYGONS

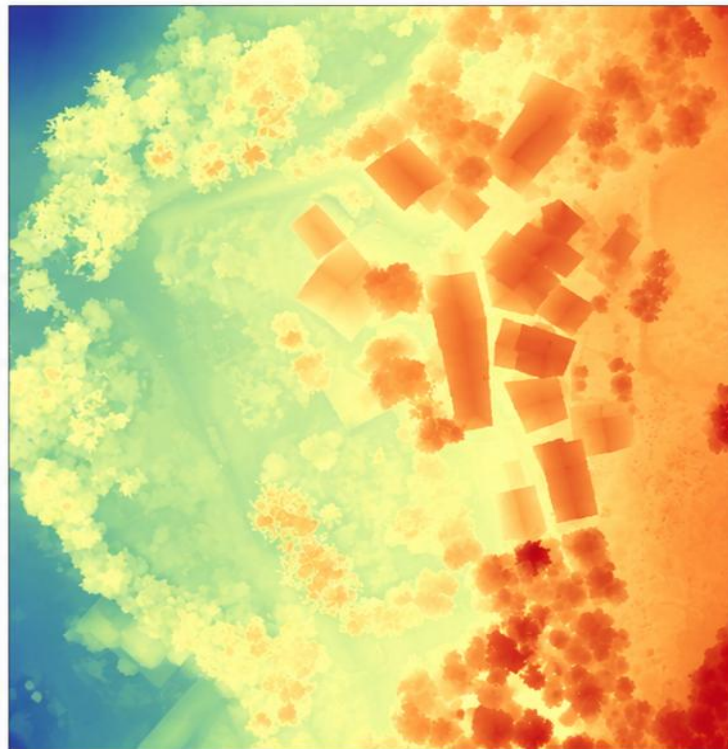
Raster (Orthophoto) + Vector (Building Footprints)



n. 21 unità edilizie in n. 12 clusters

DSM (DIGITAL SURFACE MODEL)

Raster

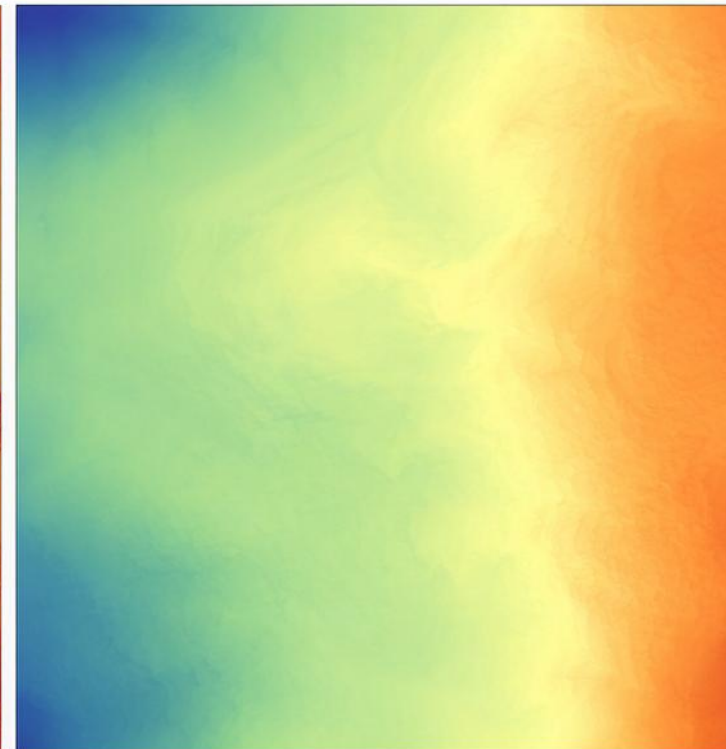


Elevation (m)



DTM (DIGITAL TERRAIN MODEL)

Raster



Elevation (m)

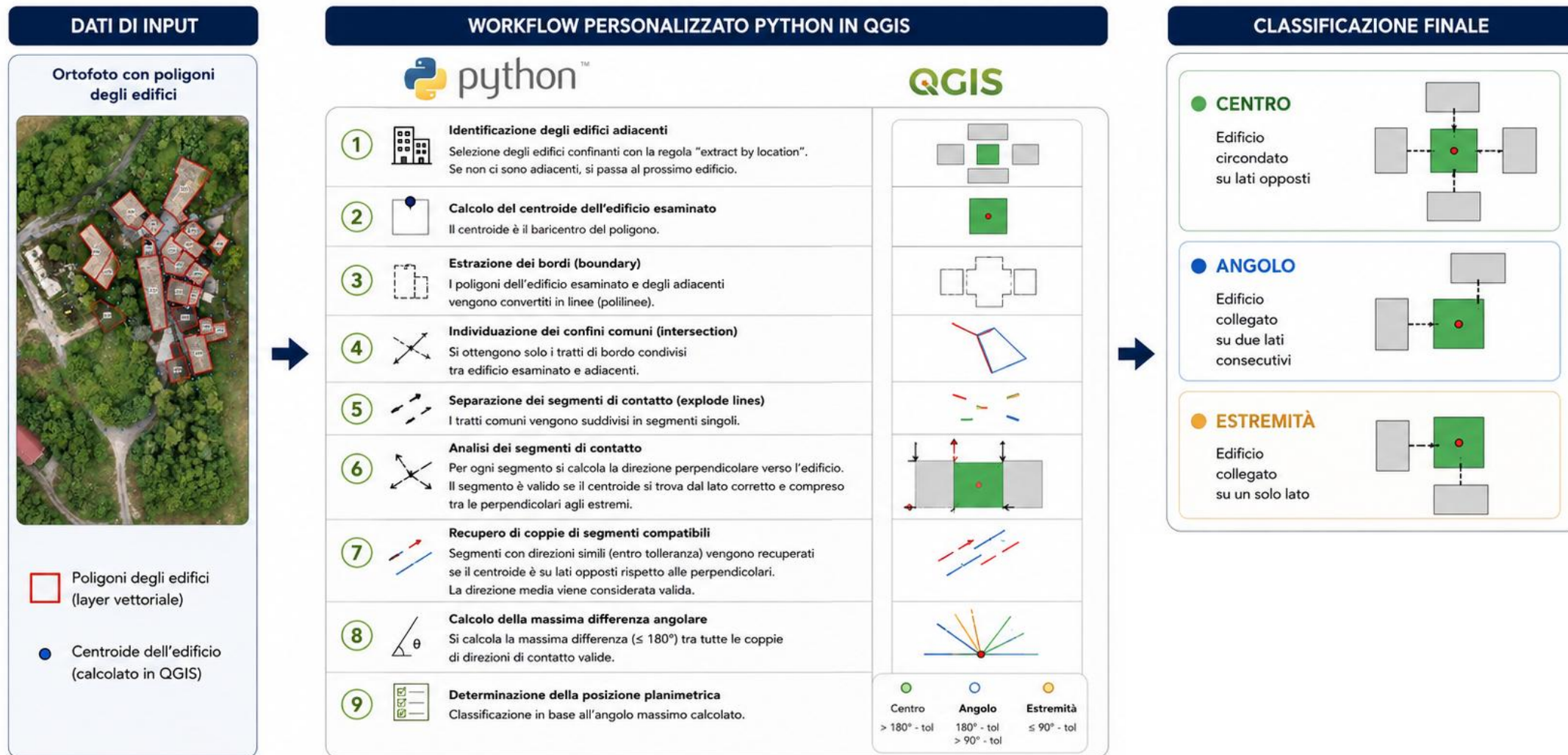


Sistema di riferimento: WGS 84/UTM zone 33N (EPSG:32633)

3. ESTRAZIONE AUTOMATICA DI PARAMETRI EDILIZI

Posizione planimetrica dell'edificio in relazione al cluster

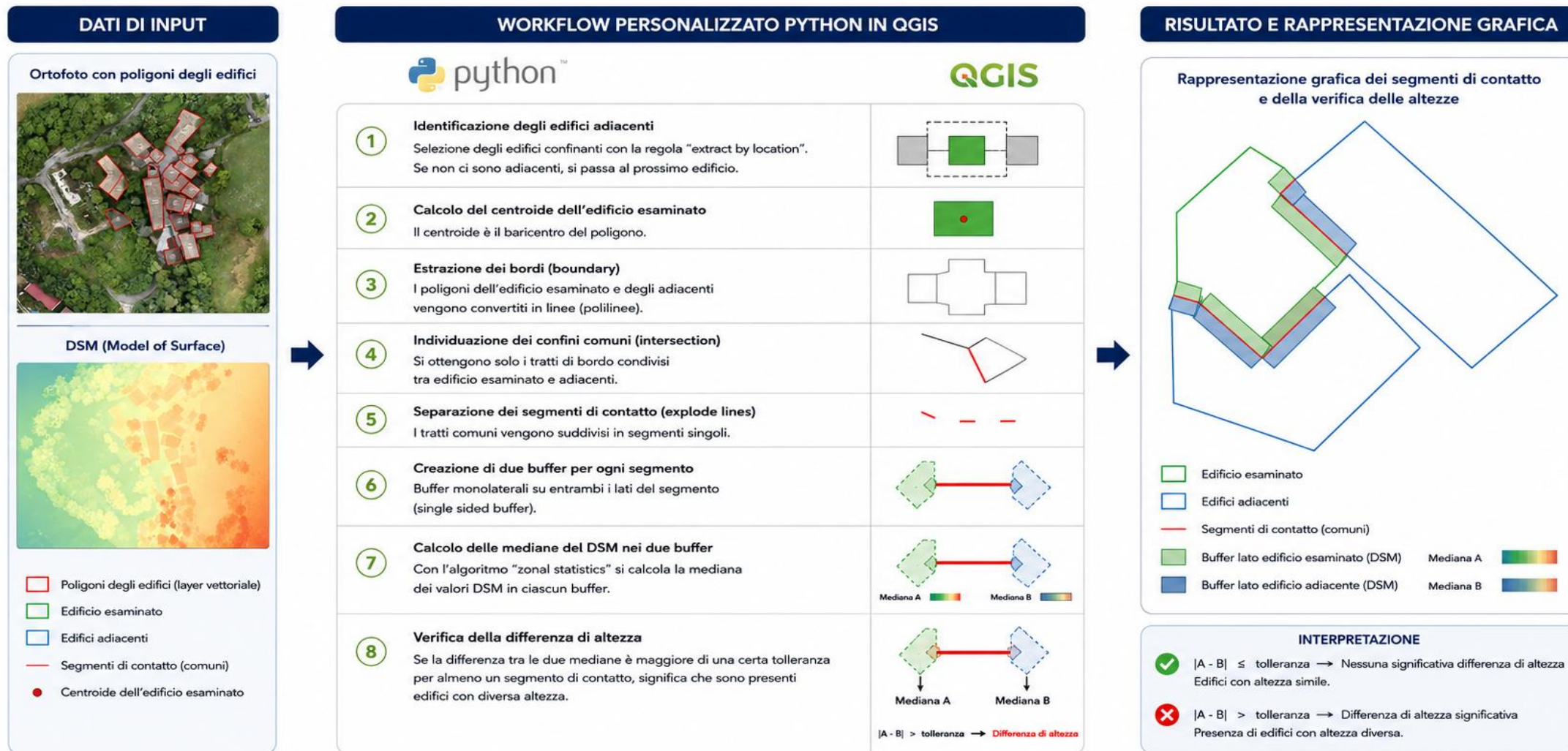
[REF: Sez. 1 scheda AeDES]



3. ESTRAZIONE AUTOMATICA DI PARAMETRI EDILIZI

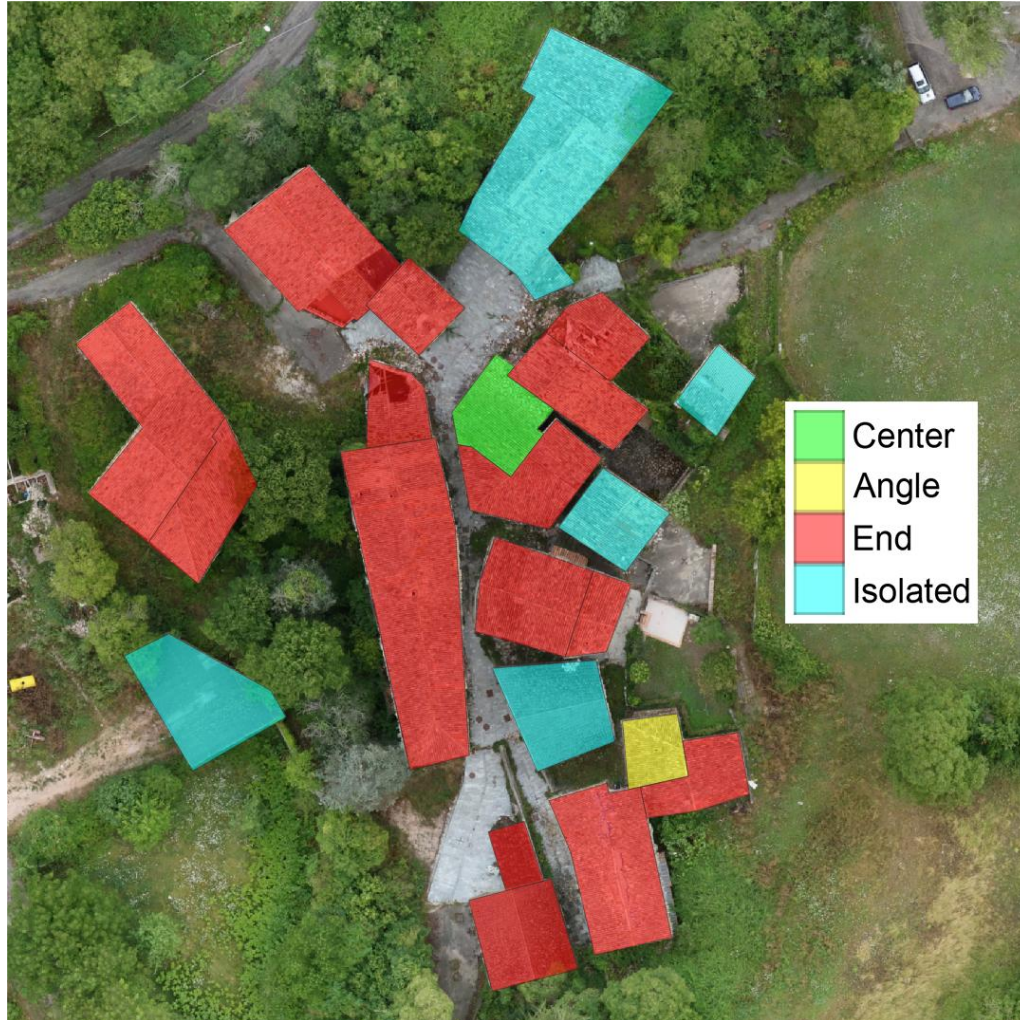
Presenza di edifici adiacenti con altezze diverse

[REF: Sez. 1 scheda AeDES]



3. ESTRAZIONE AUTOMATICA DI PARAMETRI EDILIZI

Posizione planimetrica dell'edificio in relazione al cluster



Presenza di edifici adiacenti con altezze diverse




3. ESTRAZIONE AUTOMATICA DI PARAMETRI EDILIZI

Numero di piani dell'edificio

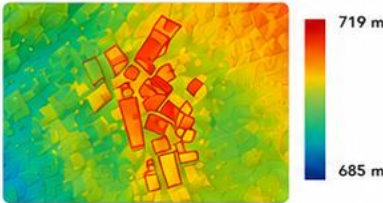
[REF: Sez. 2 scheda AeDES + paragrafo 7.2.1 NTC2018]

1. INPUT


Ortofoto



DSM (Model of Surface)
Elevazione: 685 – 719 m s.l.m.



DTM (Model of Terrain)
Elevazione: 685 – 706 m s.l.m.



Contorni edifici (layer vettoriale)

2. PROCEDURA IN QGIS CON PYTHON

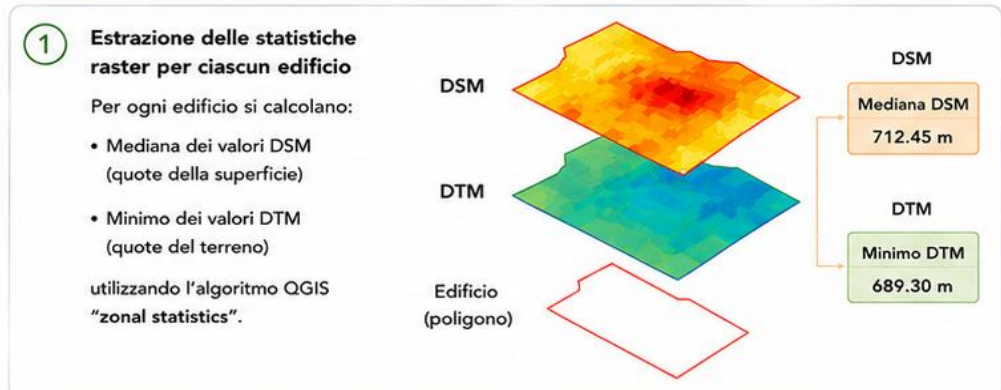
python™ QGIS

1 Estrazione delle statistiche raster per ciascun edificio

Per ogni edificio si calcolano:

- Mediana dei valori DSM (quote della superficie)
- Minimo dei valori DTM (quote del terreno)

utilizzando l'algoritmo QGIS "zonal statistics".



DSM
Mediana DSM
712.45 m

DTM
Minimo DTM
689.30 m

Edificio (poligono)

2 Calcolo del numero di piani

Il numero di piani viene stimato come:

$$N_{\text{piani}} = \text{round} \left(\frac{DSM_{\text{mediana}} - DTM_{\text{minimo}}}{H_{\text{piano}}} \right)$$

dove:

- DSM_{mediana} = mediana dei valori DSM sull'edificio
- DTM_{minimo} = minimo dei valori DTM sull'edificio
- H_{piano} = altezza attesa di un piano (es. 3.00 m)
- $\text{round}()$ = arrotondamento all'intero più vicino

ESEMPIO

$DSM_{\text{mediana}} = 712.45 \text{ m}$
 $DTM_{\text{minimo}} = 689.30 \text{ m}$
 $H_{\text{piano}} = 3.00 \text{ m}$

$$N_{\text{piani}} = \text{round} \left(\frac{712.45 - 689.30}{3.00} \right)$$
$$= \text{round} \left(\frac{23.15}{3.00} \right)$$
$$= \text{round}(7.72)$$


$N_{\text{piani}} = 2$

RANGE DI ELEVAZIONI UTILIZZATO

DTM: 685 – 706 m s.l.m. (max 706 m) | DSM: 685 – 719 m s.l.m. (max 719 m)

3. OUTPUT / RISULTATO

Mappa del numero di piani stimato per edificio



Numero di piani

- 1
- 2
- 3
- 4

0 25 50 75 m

Tabella riassuntiva: numero di piani stimato per edificio

ID edificio	DSM mediana (m)	DTM minimo (m)	Δ quota (m)	N. piani stimato
101	711.80	689.10	22.70	2
102	707.25	686.85	20.40	1
103	709.60	690.30	19.30	1
104	715.10	692.20	22.90	2
105	708.75	689.75	19.00	1
106	714.30	691.40	22.90	2
107	717.80	686.20	31.60	3
108	718.20	685.60	32.60	4
...

Note

- L'accuratezza dipende da:
 - risoluzione e qualità di DSM e DTM
 - corretto allineamento dei dati
 - valore dell'altezza di piano adottata (H_{piano})

3. ESTRAZIONE AUTOMATICA DI PARAMETRI EDILIZI

Regolarità in pianta

[REF: Sez. 2 scheda AeDES + paragrafo 7.2.2 NTC2018]

RIASSUNTO DELLE CONDIZIONI NTC 2018 (Par. 7.2.1)

- 1 Il contorno dell'edificio è convesso oppure le aree comprese tra il contorno e l'involuppo convesso sono $< 5\%$ dell'area del contorno.
- 2 Il rapporto tra i lati del rettangolo circoscritto orientato è < 4 .

INPUT

Ortofoto con poligoni edifici
(layer vettoriale)



DATI UTILIZZATI

- Contorni degli edifici (poligoni)

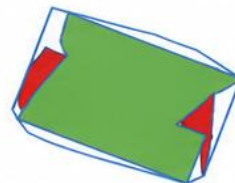
PROCEDURA IN QGIS (PYTHON) PER LA VERIFICA DELLA REGOLARITÀ IN PIANTA

1 Convessità del contorno

- Calcolo dell'involuppo convesso (Convex Hull) con l'algoritmo QGIS "convex hull".
- Calcolo dell'area del poligono dell'edificio (A_e) e dell'area dell'involuppo convesso (A_h).
- Calcolo dell'area delle rientranze:
$$A_r = A_h - A_e$$
- Verifica condizione 1:

$$\frac{A_r}{A_e} \leq 5\%$$

CONDIZIONE 1 Involuppo convesso



Aree rosse = rientranze
Condizione verificata se
 $A_r/A_e \leq 5\%$

2 Rapporto dei lati del rettangolo circoscritto

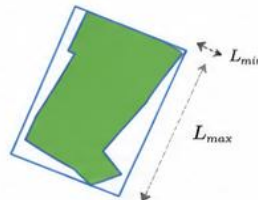
- Calcolo del rettangolo minimo orientato che circoscrive l'edificio con l'algoritmo QGIS "oriented minimum bounding box".
- Calcolo della lunghezza del lato maggiore (L_{max}) e del lato minore (L_{min}).
- Calcolo del rapporto:

$$R = L_{max} / L_{min}$$

- Verifica condizione 2:

$$R < 4$$

CONDIZIONE 2 Rettangolo circoscritto orientato



Condizione verificata se
 $L_{max} / L_{min} < 4$

3 Classificazione finale

- Se entrambe le condizioni sono verificate → REGOLARE
- Altrimenti → IRREGOLARE

REGOLARITÀ IN PIANTA

REGOLARE
(entrambe le condizioni soddisfatte)
IRREGOLARE
(almeno una condizione non soddisfatta)

OUTPUT

Regolarità in pianta degli edifici



0 25 50 75 m



LEGENDA

- REGOLARE (entrambe le condizioni soddisfatte)
- IRREGOLARE (almeno una condizione non soddisfatta)

3. ESTRAZIONE AUTOMATICA DI PARAMETRI EDILIZI

Numero di piani dell'edificio



Regolarità in pianta



RISULTATI

Mappa interattiva con collegamento a foto 360° (FSP viewer) e nuvole di punti (visualizzatore esterno)

LEGENDA

- Poligoni edifici
- Punti di stazione (Rilievo GNSS)

VISUALIZZAZIONE

- Ortofoto
- Edifici
- Punti rilievo GNSS

INTERAZIONE CON LA MAPPA

Clic su un poligono edificio per selezionarlo

Visualizza foto 360° nel FSP viewer

Apri la nuvola di punti nel visualizzatore esterno

TABELLA ATTRIBUTI DI QGIS – DATI ESTRATTI AUTOMATICAMENTE

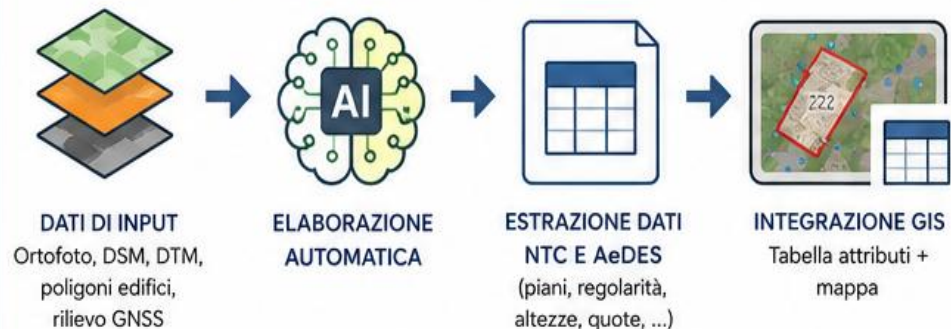
Buildings :: Elementi Totali: 22, Filtrati: 22, Selezionati: 0

	Azioni	Sheet	Parcels	Floors	ShapePIReg	PlanLoc	DifHeight	DSM_median	DTM_min
1	Filter building's AEDES sheets	52	222	2	N	NULL	NULL	713,6733398437...	706,5580810546...
2	Filter building's AEDES sheets	52	233	3	Y	E	N	716,5554809570...	708,5056017645...
3	Filter building's AEDES sheets	52	228	2	Y	NULL	NULL	715,3580322265...	710,4609784807...
4	Filter building's AEDES sheets	52	239	2	Y	NULL	NULL	714,8875427245...	709,5052858923...
5	Filter building's AEDES sheets	52	242	3	Y	E	N	716,0350952149...	706,6243552183...
6	Filter building's AEDES sheets	52	250	3	N	E	N	710,0805053710...	700,6599440801...
7	Filter building's AEDES sheets	52	520	2	Y	NULL	NULL	703,5634765625...	697,2479248046...
8	Filter building's AEDES sheets	52	247	4	Y	E	Y	714,0994873046...	703,4891321518...
9	Filter building's AEDES sheets	52	209	1	Y	E	Y	710,2274780273...	705,8944325166...
10	Filter building's AEDES sheets	52	B	2	Y	E	N	712,7280683789...	707,0966287733...
11	Filter building's AEDES sheets	52	240	3	Y	E	N	713,7515258789...	703,6807971191...
12	Filter building's AEDES sheets	52	248	3	Y	NULL	NULL	713,3184814453...	705,6960144042...
13	Filter building's AEDES sheets	52	246	2	Y	A	N	714,7245483398...	709,1184414950...
14	Filter building's AEDES sheets	52	249	3	N	E	N	716,5039672851...	706,4945252300...
15	Filter building's AEDES sheets	52	252	3	Y	E	Y	711,4498291015...	703,2897261362...
16	Filter building's AEDES sheets	52	NULL	1	Y	E	Y	707,0205078125...	704,2940572102...
17	Filter building's AEDES sheets	52	209	3	N	E	N	709,1325073242...	700,7650909423...
18	Filter building's AEDES sheets	52	234	2	Y	E	N	715,5015258789...	708,8630371093...
19	Filter building's AEDES sheets	52	235	2	N	C	N	714,5554809570...	707,9679679361...
20	Filter building's AEDES sheets	52	236	2	N	E	N	713,8850708007...	707,5958958675...
21	Filter building's AEDES sheets	52	401	2	Y	E	N	716,1044921875...	709,1866295083...
22	Filter building's AEDES sheets	52	245	2	N	E	N	715,1962890625...	709,9693297823...

Mostra Tutti gli Elementi

CONCLUSIONI

(GEO-AI) PER ESTRAZIONE DATI NTC E AeDES



DATI ESTRATTI AUTOMATICAMENTE IN QGIS

id	Area_m2	N_piani	ShapePIReg	PlanLoc	DiffHeight	DSM_mediana	DTM_minima
222	220.45	2	N	NULL	NULL	713.67	706.56
233	185.30	3	Y	E	N	716.56	708.51
228	142.80	2	Y	NULL	NULL	715.36	710.46
239	210.15	2	Y	NULL	NULL	714.89	709.51
234	168.75	2	Y	E	N	716.04	706.62
235	145.60	3	Y	E	N	710.08	700.66
242	132.90	3	Y	E	N	714.24	703.49
247	310.60	2	Y	E	N	710.23	705.89
248	158.40	3	Y	NULL	NULL	713.31	705.70

Mostra Tutti gli Elementi



SUPPORTO PER LA PROTEZIONE CIVILE



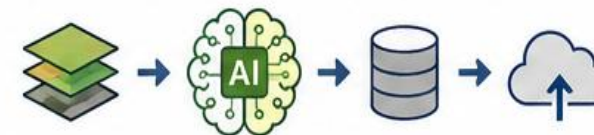
RILIEVO SPEDITIVO



INTEGRAZIONE CON QFIELD



FLUSSO INTEGRATO E SCALABILE



Verso un GIS intelligente e 3D per la gestione del territorio e del rischio



CREAZIONE MODELLO 3D GIS – CITYMODEL

CityModel basato su CityGML e LOD



Costruzione di un CityModel 3D del tessuto urbano.



Standard CityGML e livelli di dettaglio (LOD) per una rappresentazione scalabile e interoperabile.

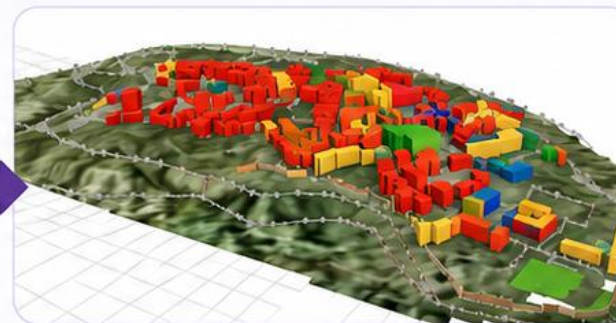


Caso di riferimento: progetto sviluppato a San Ginesio, nel cratere sismico 2016–2017 del Centro Italia.



Modello 3D – LOD 1/2

Geometria semplificata e volumetrie essenziali.



Modello 3D – TEMATIZZATO

Informazioni tematiche per analisi di rischio e supporto decisionale.

- ✓ Maggiore accuratezza e dettaglio
- ✓ Analisi avanzate e multi-rischio
- ✓ Supporto a pianificazione, emergenza e ricostruzione
- ✓ Integrazione con altri dati territoriali



USO DI LLM PER ESTRARRE DATI



Documenti normativi

NTC 2018, AeDES, Linee guida, ...



LLM (Large Language Model)

Comprensione del testo e regole di estrazione



Estrazione intelligente dei dati

Parametri strutturali, criticità, danno, agibilità, ...



Integrazione in GIS

Aggiornamento automatico e supporto decisionale



Grazie per l'attenzione!



Ing. Francesco Di Stefano

f.distefano@staff.univpm.it

francy89disty@gmail.com



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE



gap.geomatics@gmail.com