Approccio cooperativo per le verifiche di qualità dei prodotti Lidar e Fotogrammetrici

Virgilio Cima[1], Giampiero Gozza[2], Paolo Formicola[2], Stefano Olivucci[2], Simone Ceresini[3], Annachiara Vincenzi[3], Valentina Tegoni[4]

[1] Libero professionista, virgiliocima@gmail.com
[2] Regione Emilia-Romagna, Giampiero.Gozza@regione.emilia-romagna.it, Paolo.Formicola@regione.emilia-romagna.it, Stefano.Olivucci@regione.emilia-romagna.it
[3] Compagnia Generale Ripreseaeree S.p.A, simone.ceresini@cgrspa.com, annachiara.vincenzi@cgrspa.com
[4] ELIOFOTOTECNICABARBIERI - EFT S.r.l, vtegoni@eft.it

Abstract. Il lavoro vuole mettere in evidenza come un approccio cooperativo e articolato in attività di verifica di dati Lidar e fotogrammetrici da piattaforma aerea consenta di raggiungere un livello di qualità dei prodotti pienamente adeguato all'utilizzo degli stessi nelle applicazioni di tipo cartografico quale componente del sistema informativo geo-topografico regionale.
Oltre ad illustrare le caratteristiche dei controlli e testimoniare le criticità emerse, il lavoro intende mettere in luce il ruolo fondamentale del coordinamento e della piena sinergia tra committente, ditta esecutrice e collaudatori allo scopo di rendere disponibili prodotti cartografici di alta qualità e di alto valore sia per la Pubblica Amministrazione sia per chi opera sul territorio.

Parole chiave: Ortofoto, Lidar, Modelli digitali, DTM, DSM, Verifiche di conformità.

1 Introduzione

La Regione Emilia-Romagna sta acquisendo per lotti una copertura di prodotti Lidar e fotogrammetrici, a cui si aggiungono analoghi rilievi comunali o locali, della quale è stata incaricata l'azienda Compagnia Generale Ripreseaeree S.p.A. (CGR). Nella pianificazione delle attività si sono concordate una serie di fasi di verifica di qualità, sia in corso di produzione che nell'ambito del collaudo, e successive fasi di re-work e consolidamento che complessivamente rendono i prodotti particolarmente performanti.

Questo approccio contribuisce a ottimizzare le attività di post-processing e a rafforzare il controllo della qualità dei dati. Infatti, attraverso il confronto tra le coordinate dei GCP disponibili presso CGR e quelle estratte dalla nuvola di punti mediante il software TerraScan (TerraSolid), è possibile verificare in modo sistematico l'accuratezza plano-altimetrica dei prodotti, individuando eventuali scostamenti e consentendo l'adozione tempestiva delle opportune azioni correttive nel rispetto delle tolleranze previste dal progetto.

Successivamente, nelle fasi di verifica di conformità, oltre alle attività relative a controlli intrinseci automatizzabili, è stata eseguita una intensa attività in campagna con rilievo GNSS di un numero elevato di punti di controllo che ha consentito di individuare, pur nel rispetto generale del capitolato, anomalie localizzate puntualmente corrette o documentate.

Una parte dei dati acquisiti, rilevati in modo preventivo, sono stati utilizzati per rinforzare i vincoli nell'inquadramento plano-altimetrico dei prodotti ed incrementare la qualità geometrica in fase di produzione.

2 Il progetto, i prodotti e le modalità di accesso ai dati

2.1 Il progetto

Nel 2023 il Settore Innovazione Digitale, Dati, Tecnologia e Polo Archivistico della Regione Emilia-Romagna ha avviato un progetto, tutt'ora in corso, per il rilevamento di tutto il territorio regionale mediante ripresa aerofotogrammetrica digitale con successiva formazione di ortofoto e contestuale ripresa LiDAR con successiva produzione dei modelli digitali di elevazione [1].

Le campagne di rilievo procedono per aree geografiche equamente suddivise per annualità successive, individuate in funzione delle necessità delle diverse Direzioni e Agenzie regionali, tenendo conto di eventuali criticità, progetti in corso e potenzialità di utilizzo nell'immediato.

In analogia a quanto già effettuato per le aree di un progetto pilota eseguito nell'anno 2022, le riprese avvengono in condizioni di limitata fogliazione, minimi residui di neve (solo a quote di montagna) ed inclinazione dei raggi solari non inferiore a 25°.

Nella figura seguente sono schematizzate le aree attualmente rilevate o in corso di acquisizione.

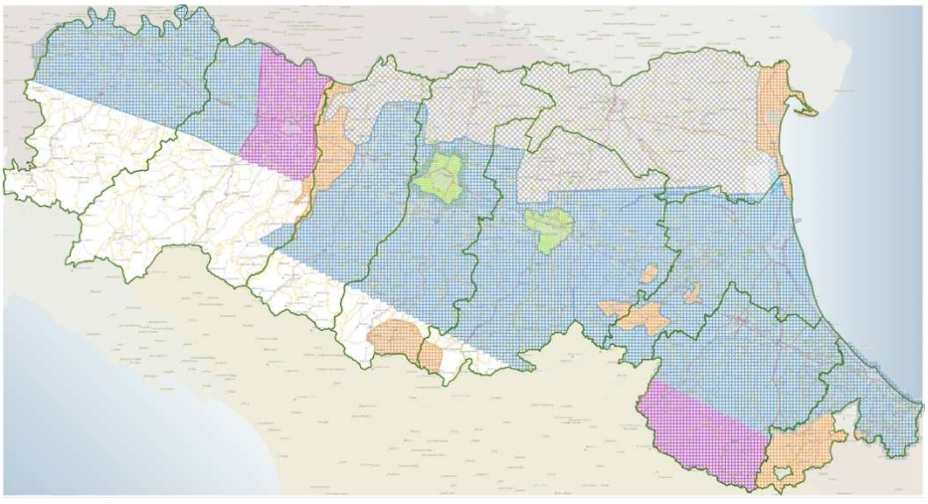


Fig. 1. Stato di avanzamento delle campagne di rilievo

In viola le aree relative alle annualità 2025/26, in azzurro le aree relative alle annualità 2023/24, in arancione le aree rilevate nel progetto pilota del 2022, in verde le aree relative a campagne di riprese commissionate dai Comuni di Bologna e Modena, in grigio le aree attualmente in consegna/collaudo.

2.2 Caratteristiche dei prodotti

Le ortofoto, derivate dalla ripresa aerofotogrammetrica, hanno una risoluzione a terra del pixel di 20 cm, una risoluzione radiometrica di 4 bande RGBI di 8 bit ciascuna e un'accuratezza posizionale di 60 cm al livello di confidenza del 97%.

Le nuvole di punti del rilievo LiDAR hanno una densità non inferiore agli 8 punti a metro quadro sulla singola strisciata (contando solo un punto nei casi di ritorni multipli), un'accuratezza altimetrica di 8 cm ad 1 sigma e sono classificate in 6 diverse classi (Ground, Overground, Vegetazione, Edifici e Manufatti, Acqua e Ponti).

I modelli digitali di elevazione DTM, DSM "first" e DSM "last", derivati dalle nuvole LiDAR, hanno la cella di 0.5 metri.

2.3 Accesso ai dati/servizi

I dati sono direttamente accessibili tramite servizi WMS/WCS.

Le ortofoto sono consultabili anche tramite app webgis "Moka" o tramite Geoportale 3D. In entrambi i casi non è richiesta installazione di software aggiuntivi, perché i dati vengono visualizzati direttamente all'interno del browser. In generale, il Geoportale 3D permette la visualizzazione dei dati del catalogo regionale con una rappresentazione tridimensionale, consentendo anche il caricamento di dati da parte dell'utente.

3 La ditta esecutrice e i controlli di qualità interni

La ditta incaricata dell'esecuzione dei rilievi è CGR S.p.A. con sede a Parma.
Grazie a un solido know-how tecnico nella rilevazione ed elaborazione delle informazioni territoriali, CGR supporta i processi decisionali in settori chiave quali infrastrutture, ambiente, agricoltura e pianificazione urbana.

In questo contesto, il controllo della qualità rappresenta una fase integrante del processo produttivo, volta a garantire l'affidabilità dei dati acquisiti e la conformità dei prodotti alle specifiche tecniche previste dal Capitolato Speciale d'Appalto. Prima della consegna finale, tutti i dati vengono pertanto sottoposti a verifiche sistematiche di completezza, accuratezza e rispondenza ai requisiti contrattuali.

Per la componente fotogrammetrica vengono controllati la qualità radiometrica delle immagini, la corretta copertura del territorio, le sovrapposizioni longitudinali e trasversali, la bontà dell'aero triangolazione e gli scarti sui punti di appoggio e di controllo. Per quanto riguarda la generazione dell'ortofoto vengono verificate le linee di mosaicature tra le immagini rettificate e l'accuratezza geometrica e radiometrica. Per la componente LiDAR vengono verificate la copertura delle strisciate, la corretta georeferenziazione, l'allineamento tra le traiettorie di volo, la densità della nuvola di

punti e l'assenza di anomalie o lacune. Ulteriori controlli riguardano la classificazione automatica e manuale della nuvola di punti, con particolare attenzione all'individuazione dele classi previste dal Capitolato Speciale d'Appalto. L'intero processo è supportato da verifiche statistiche e ispettive finalizzate a garantire la piena rispondenza dei prodotti ai requisiti tecnici contrattuali.

4 Le verifiche di conformità

In occasione di ogni consegna tutti i prodotti vengono sottoposti a verifica di conformità, secondo quanto indicato nel Capitolato Speciale dell'appalto. I controlli vengono eseguiti da una squadra di verificatori costituita da personale dell'azienda EFT srl di Parma e da personale tecnico regionale, con un contributo di supporto tecnico da parte di un professionista esterno.

I controlli riguardano sia gli aspetti di conformità intrinseca, eseguiti sulla totalità della fornitura utilizzando anche procedure automatiche, sia gli aspetti di conformità reale, soprattutto per quanto riguarda le prestazioni metriche delle geometrie modellate.

Per alcuni tipi di controlli, per rendere più agevole ed efficace l'esecuzione delle verifiche formali sono state sviluppate procedure software ad hoc, che rimangono a disposizione anche a valle dell'utilizzo nel contesto attuale.

Complessivamente, le attività di verifica possono essere così schematizzate [2][3][4].

Generali
- completezza e correttezza della documentazione e dei supporti informatici previsti per la consegna

Verifica delle riprese aerofotogrammetriche
- risoluzione radiometrica delle immagini
- continuità nella copertura stereoscopica del territorio
- corrispondenza fra riprese eseguite e piano di volo
- che i valori di GSD rientrino nei limiti stabiliti (proiezione su DTM)
- che i ricoprimenti longitudinali e trasversali rientrino nei limiti consentiti
- che i valori angolari di o.e. di tutti i fotogrammi e le relative differenze rientrino nei limiti consentiti
- che i contenuti delle immagini dei fotogrammi siano privi di nubi, ombre o altri difetti radiometrici

Verifica delle ortofoto
- copertura della superficie di territorio
- risoluzione geometrica e radiometrica delle immagini
- che il sistema di riferimento utilizzato sia quello previsto
- dimensioni e "taglio" dei fogli in cui è suddivisa la fornitura
- qualità radiometrica delle immagini (analitica, istogrammi ecc.), distribuzione di eventuali "no data"
- verifica visuale per valutare la qualità radiometrica e l'assenza di anomalie geometriche
- accuratezza metrica (intrinseca) mediante confronto con collimazioni stereoscopiche
- accuratezza metrica mediante confronto con misure topografiche
- congruenza agli attacchi fra immagini adiacenti
- in caso di adiacenza ad altre ortofoto preesistenti, completezza e congruenza dei dati all'attacco

Verifica del rilievo LiDAR e dei modelli digitali
- copertura della superficie di territorio
- densità delle nuvole di punti
- che il sistema di riferimento utilizzato sia quello previsto
- coerenza altimetrica dei punti nelle aree di sovrapposizione fra le diverse nuvole
- dimensioni e "taglio" dei tile in cui è suddivisa la forniturai
- risoluzione geometrica e radiometrica dei file raster dell'Intensità
- assenza di "spikes", "outliers" e altre anomalie grossolane mediante algoritmi automatici
- assenza di anomalie nei modelli altimetrici mediante analisi visuale in ambiente 3D
- coerenza altimetrica al contatto/sovrapposizione fra nuvole di punti
- coerenza altimetrica al contatto fra modelli altimetrici adiacenti
- omogeneità del valore altimetrico in corrispondenza degli specchi d'acqua
- accuratezza metrica mediante confronto con misure topografiche
- in caso di adiacenza a rilievi preesistenti, completezza e congruenza dei dati all'attacco

Pur non avendo mai superato, nell'ambito dei vari lotti di consegna, i limiti di tolleranza indicati dai parametri statistici di valutazione della qualità contenuti nel Capitolato Speciale dell'appalto, i prodotti forniti hanno evidenziato in alcuni casi la presenza di anomalie geometriche circoscritte a determinate aree del territorio.

Si tratta di anomalie circoscritte e di modesta entità, che rientrano ampiamente nelle percentuali di ammissibilità degli errori, ma che risaltano nel contesto complessivo dei dati proprio per l'elevata qualità generale del resto dei prodotti. Si è quindi deciso di mettere in atto alcune azioni di coordinamento ai fini di perfezionare la qualità dei prodotti.

5 Il coordinamento e obiettivi di qualità condivisi

La soluzione identificata per il raggiungimento degli scopi sopra descritti ha previsto come prima operazione l'incremento della densità dei punti di controllo acquisiti sul terreno mediante misure topografiche, con il doppio obiettivo di rendere da un lato particolarmente robusto il controllo metrico aumentando la probabilità di intercettare eventuali anomalie localizzate (un esempio delle quali è riportato nel punto successivo) e dall'altro di implementare una banca dati di punti noti sul territorio, ben riconoscibili sulle immagini delle ortofoto e/o particolarmente idonei alla verifica metrica dei modelli digitali [5][6], che al di là dello scopo contingente costituisce un patrimonio informativo a disposizione per una varietà di potenziali esigenze future.

I punti di controllo a terra vengono acquisiti con ricevitori satellitari di categoria geodetica, in modalità NRTK. La distribuzione complessiva delle aree interessate dai punti di controllo è schematizzata nella figura seguente.

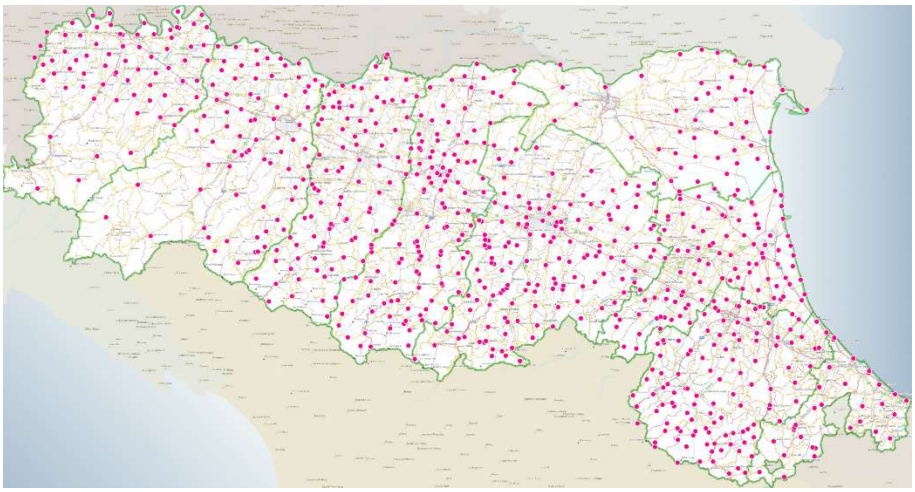


Fig. 2. Aree in cui sono state eseguite misure topografiche di controllo

In presenza delle anomalie localizzate di cui sopra, un sottoinsieme dei punti acquisiti sul terreno a scopo di verifica, selezionato secondo criteri di migliore riconoscibilità e distribuzione spaziale, è stato trasmesso alla ditta esecutrice ad integrazione dei GCP già presenti.

È stato quindi concordato con la ditta di utilizzare tali punti integrativi come elementi di vincolo per una ripetizione mirata delle operazioni di ortorettifica delle immagini oppure di processamento delle nuvole di punti, a seconda di quale fra i prodotti avesse evidenziato l'opportunità di correzione.

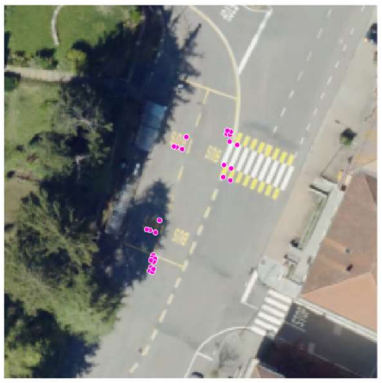
In tutti i casi elaborati la ripetizione del trattamento ha risolto il problema, eliminando completamente le anomalie.

A valle di ogni intervento correttivo è stata ripetuta tutta la serie di controlli che interessano il tipo di prodotto modificato [7], estendendo convenientemente l'area di verifica in modo da accertare che l'operazione non abbia generato discontinuità con i dati circostanti non soggetti a variazioni.

6 I risultati raggiunti

La robustezza delle verifiche di conformità eseguite sui prodotti, unitamente alla disponibilità della ditta esecutrice dei rilievi a recepire richieste di perfezionamento dei dati anche al di là degli obblighi strettamente contrattuali, ha consentito di ottenere una serie di prodotti particolarmente performanti.

A titolo di esempio, si riportano alcuni casi in cui l'intervento correttivo ha risolto le (pur modeste) criticità. Nei tabulati delle figure seguenti le quote misurate dei punti di verifica sono messe a confronto con le quote dei modelli di prima consegna (“1”) e con le quote degli stessi modelli rigenerati a valle dell’aggiunta dei vincoli (“2”).



punto	e_mis	n_mis	q_mis	q_dtm_1	dq_1	q_dtm_2	dq_2
p_576	619160.104	4929671.764	568.101	568.25	0.14	568.12	0.02
p_577	619160.011	4929671.460	568.095	568.23	0.13	568.10	0.00
p_578	619160.368	4929671.283	568.068	568.22	0.15	568.09	0.02
p_579	619160.204	4929670.931	568.055	568.21	0.15	568.08	0.03
p_580	619159.849	4929671.084	568.058	568.21	0.15	568.08	0.02
p_581	619159.822	4929670.193	568.028	568.16	0.13	568.04	0.01
p_582	619159.681	4929669.803	567.997	568.14	0.14	568.01	0.01
p_583	619160.025	4929669.640	568.009	568.13	0.12	568.01	0.00
p_584	619160.189	4929670.010	568.036	568.15	0.12	568.03	-0.01
p_585	619160.409	4929674.605	568.220	568.35	0.13	568.23	0.00
p_586	619160.941	4929676.111	568.324	568.42	0.10	568.29	-0.03
p_587	619159.681	4929674.862	568.221	568.35	0.13	568.22	0.00
p_588	619159.317	4929674.966	568.244	568.35	0.11	568.23	-0.02
p_589	619163.731	4929685.000	568.740	568.91	0.16	568.78	0.04
p_590	619164.268	4929686.495	568.852	568.98	0.13	568.86	0.00
p_591	619163.058	4929685.210	568.769	568.91	0.14	568.78	0.01
p_592	619162.715	4929685.329	568.757	568.91	0.15	568.78	0.03
p_593	619169.310	4929686.862	568.853	569.02	0.17	568.90	0.05
p_594	619169.734	4929686.751	568.871	569.01	0.14	568.88	0.01
p_595	619169.806	4929687.157	568.894	569.04	0.15	568.92	0.02
p_596	619169.392	4929687.273	568.899	569.06	0.16	568.93	0.03
p_597	619169.693	4929685.934	568.872	569.03	0.16	568.91	0.03
p_598	619168.969	4929682.992	568.766	568.90	0.13	568.78	0.01
p_599	619168.874	4929681.507	568.680	568.84	0.16	568.72	0.04
p_600	619169.776	4929681.091	568.712	568.86	0.15	568.74	0.03
p_601	619169.869	4929682.569	568.773	568.92	0.14	568.79	0.02
p_602	619170.595	4929685.499	568.903	569.05	0.14	568.92	0.02



punto	e_mis	n_mis	q_mis	q_dtm_1	dq_1	q_dtm_2	dq_2
p_846	632879.576	4927968.392	225.003	225.14	0.13	225.01	0.00
p_847	632879.955	4927967.686	224.992	225.13	0.14	225.00	0.01
p_848	632880.234	4927967.044	225.012	225.13	0.11	225.00	-0.01
p_849	632880.702	4927967.352	225.005	225.14	0.14	225.01	0.01
p_850	632880.984	4927966.877	224.994	225.14	0.14	225.01	0.01
p_851	632880.516	4927966.607	224.995	225.13	0.13	225.00	0.00
p_852	632884.613	4927960.201	224.812	224.94	0.13	224.81	0.00
p_853	632885.131	4927959.377	224.818	224.93	0.11	224.80	-0.02
p_854	632885.728	4927958.432	224.787	224.91	0.12	224.78	-0.01
p_855	632887.783	4927955.151	224.780	224.83	0.04	224.70	-0.08
p_856	632887.964	4927954.856	224.731	224.83	0.10	224.70	-0.03
p_857	632890.022	4927950.486	224.649	224.72	0.07	224.59	-0.06
p_858	632890.161	4927950.185	224.539	224.71	0.18	224.59	0.05
p_859	632890.461	4927950.321	224.515	224.70	0.18	224.57	0.06
p_860	632890.318	4927950.628	224.534	224.71	0.17	224.58	0.05
p_861	632893.448	4927946.779	224.388	224.56	0.17	224.43	0.04
p_862	632893.753	4927946.335	224.405	224.55	0.15	224.42	0.02
p_863	632894.203	4927946.617	224.392	224.53	0.14	224.40	0.01
p_864	632893.900	4927947.071	224.393	224.54	0.15	224.41	0.02
p_865	632899.085	4927943.954	224.256	224.43	0.17	224.30	0.04
p_866	632898.591	4927944.693	224.291	224.45	0.16	224.32	0.03
p_867	632898.034	4927945.607	224.347	224.49	0.14	224.36	0.01
p_868	632897.555	4927946.353	224.347	224.50	0.16	224.38	0.03
p_869	632897.001	4927947.248	224.396	224.54	0.14	224.41	0.01
p_870	632896.548	4927948.011	224.419	224.56	0.14	224.43	0.01
p_871	632891.477	4927947.546	224.490	224.66	0.16	224.53	0.04
p_874	632891.678	4927947.168	224.481	224.66	0.17	224.53	0.05

Fig. 3. Differenze su alcuni punti di verifica prima e dopo l'aggiunta dei vincoli

Le modalità di coordinamento adottate hanno quindi efficacemente concorso al raggiungimento dell'obiettivo principale alla base del lavoro, che era quello di mettere a disposizione dell'utenza, sia essa appartenente alla Pubblica Amministrazione sia esterna, prodotti di alto livello qualitativo.

L'esito positivo è testimoniato anche da riscontri di apprezzamento sulla qualità e utilità dei prodotti che giungono talvolta direttamente dall'utenza, non solo regionale ma anche ad esempio di istituti di ricerca che operano in ambito nazionale.

7 Conclusioni

Il risultato della cooperazione virtuosa fra i vari soggetti coinvolti a diverso titolo nelle attività inerenti agli appalti di formazione di ortofoto, nuvole di punti e modelli digitali di elevazione, ha garantito un costante controllo qualitativo delle forniture e ha permesso di intervenire in modo efficace in tutte le situazioni in cui sono emerse opportunità di miglioramento, può essere quindi validamente sintetizzato nei seguenti due aspetti:

- il raggiungimento di un'ottima qualità di tutti dati prodotti;
- la disponibilità di strumenti software specificamente sviluppati e di punti noti acquisiti sul territorio che, al di là dell'utilizzo già avvenuto nell'ambito delle attività sopra descritte, costituiscono un patrimonio potenzialmente riutilizzabile in una varietà di contesti futuri. Ciò ha consentito di consolidare l'obiettivo primario dell'intera attività, che è quello di rendere disponibili prodotti cartografici di alta qualità e di alto valore sia per la Pubblica Amministrazione sia per chi opera sul territorio.

Riferimenti bibliografici

1. Regione Emilia-Romagna, Capitolato Tecnico appalto LiDAR 2023-24, https://geoportale.regione.emilia-romagna.it/approfondimenti/contenuti-allegati/all-3-capitolato-tecnico.pdf, ultimo accesso 2026/10/12.
2. Casella, V. M., Franzini, M., & Lodigiani, D., Automated and Comprehensive Quality Assessment of Nationwide Aerial LiDAR Data: Insights from the LiDAR-ITA Project. In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS Archives), XLIX-B2-2026, 125–132 (2026).
3. Joint Research Centre (JRC), Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery (EUR 23638 EN), Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg (2008).
4. Polidori, L., & El Hage, M., Digital Elevation Model Quality Assessment Methods: A Critical Review. In: Remote Sensing, 12(21), 3522, MDPI Open Access (2020).
5. EuroSDR (European Spatial Data Research), Assessment of the Quality of Digital Terrain Models. EuroSDR Official Publication, Project Report. EuroSDR Resource (2011).
6. Höhle, J., Höhle, M., Accuracy assessment of digital elevation models by means of robust statistical methods. ISPRS. In: Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64(4), 398-406, (2009).
7. ISO 19157-1:2023, Geographic information - Data quality, https://www.iso.org/standard/78900.html, ultimo accesso 2026/10/12.