

Sintesi delle elaborazioni effettuate sul dataset dei rilievi del fiume Adige

Francesca Bergamin

12 febbraio 2019

1 Descrizione dei dati dei rilievi

Rilievi 1929 e 1952. Le sezioni rilevate negli anni 1929 e 1952 sono relative alla zona del comune di Ora, in Alto Adige. Si tratta di 16 sezioni poste a distanza di 1 km una dall'altra.

Per ciascuna sezione è stato fornito un *file* in formato DWG sul quale sono tracciati i due rilievi effettuati nel 1929 e nel 1952. Dai DWG sono quindi state estratte le coordinate trasversali e le quote altimetriche dei diversi rilievi. Questo materiale non è corredato da informazione geografica, per cui non si dispone di coordinate che identifichino la posizione dei punti sulla superficie terrestre.

La posizione delle sezioni rispetto ad un riferimento disposto longitudinalmente lungo l'asse del fiume è stata ricostruita individuando la corrispondenza tra queste sezioni e quelle rilevate negli anni successivi, e assegnandovi poi la medesima coordinata curvilinea.

Rilievo 1954. Le sezioni rilevate nell'anno 1954 sono collocate all'interno del tratto compreso tra la città di Verona e la foce del fiume, lungo poco più di 150 km.

Per ognuna delle sezioni, identificate da un numero intero compreso tra 869 e 1371, sono riportate in un unico foglio elettronico le coordinate trasversali, la quota altimetrica e le coordinate GAUSS-BOAGA, ROMA 40 dei punti rilevati. Le sezioni rilevate sono inoltre disponibili in formato DWG.

La posizione delle sezioni rispetto ad un riferimento disposto longitudinalmente lungo l'asse del fiume è stata invece ricostruita sulla base di una seconda tabella, sulla quale sono riportate solamente le corrispondenze tra le sezioni rilevate e la coordinata curvilinea che ha origine coincidente con la sorgente del fiume.

Le sezioni rilevate nel 1954, in totale 437, sono tra loro poste ad una distanza media di 329 m; le distanze massima e minima tra due sezioni successive valgono invece rispettivamente 410 m e 253 m. La distribuzione delle sezioni è ritenuta sufficientemente regolare e adeguata per la descrizione del tratto considerato.

Rilievo 1968. I dati registrati nel 1968 sono relativi al tratto dell'Adige che attraversa la zona della città di Trento, all'interno della quale si trova la confluenza del fiume con il torrente Avisio. Il tratto interessato dal rilievo è esteso per una lunghezza di circa 10 km.

Per ciascuna sezione, identificata da un numero intero compreso tra 250 e 324, sono indicate in un unico foglio di calcolo le coordinate trasversali, la quota altimetrica e le coordinate GAUSS-BOAGA, ROMA 40 dei punti rilevati. Le sezioni rilevate sono inoltre disponibili in formato DWG.

La collocazione delle sezioni rispetto al riferimento longitudinale avente origine coincidente con la sorgente del fiume è stata stabilita sulla base della tabella riportante gli identificativi delle sezioni rilevate e la corrispondente coordinata curvilinea.

Le 75 sezioni rilevate nel 1968 sono tra loro poste ad una distanza media di 150 m; le distanze massima e minima tra due sezioni successive valgono invece rispettivamente 156 m e 145 m. La distribuzione delle sezioni è quindi molto regolare e fornisce una buona descrizione del tratto considerato.

Rilievo 1971. Nel 1971 sono state rilevate una serie di sezioni nei due tratti Merano-Trento e Trento-Borghetto, coprendo, in maniera complementare con il rilievo effettuato nel 1968, una lunghezza complessiva di 132 km. All'interno della zona interessata da questo rilievo, il fiume Adige riceve alcuni importanti apporti di portata: in prossimità della città di Bolzano si trova la confluenza con il fiume Isarco, mentre nel territorio della Provincia Autonoma di Trento si aggiungono i contributi dei torrenti Noce, Fersina e Leno.

Le sezioni rilevate sono identificate da numeri interi compresi nell'intervallo 10-249 per il primo tratto, e 326-599 per il secondo; per ciascuna di queste sono elencate in un unico foglio elettronico le coordinate trasversali, la quota altimetrica e le coordinate GAUSS-BOAGA, ROMA 40 dei punti rilevati. Le sezioni rilevate sono inoltre disponibili in formato DWG.

La collocazione delle sezioni rispetto al riferimento curvilineo con origine coincidente con la sorgente del fiume è stata stabilita sulla base della tabella recante la corrispondenza tra gli identificativi delle sezioni rilevate e le coordinate longitudinali.

Le sezioni rilevate nell'anno 1971 sono in complesso 502, delle quali 237 riferite al primo tratto e 262 al secondo. Le distanze media, massima e minima tra due sezioni poste tra loro in sequenza valgono rispettivamente 149 m, 205 m e 73 m; nel primo tratto comunque le sezioni appaiono più ravvicinate tra loro, in quanto fra Merano e Trento la distanza media è pari a 113 m. La distribuzione delle sezioni è quindi abbastanza regolare e fornisce una buona descrizione del tratto considerato.

Rilievo 1977. Le sezioni rilevate nell'anno 1977 sono comprese tra la città di Merano e la confluenza fra l'Adige e il Noce, lungo un tratto esteso per 57 km.

Le sezioni rilevate sono identificate da numeri interi compresi tra 12 e 122, talvolta abbinati ad una lettera nel caso in cui nella stessa zona il rilievo sia stato effettuato anche lungo un transetto obliquo rispetto alle sponde oltre che perpendicolare (ad esempio in presenza di pile di ponte o altri manufatti).

Per ognuna delle sezioni sono riportate in un unico *file* database le coordinate trasversali e la quota altimetrica dei punti rilevati, i quali non sono corredati dall'informazione geografica presente invece nella maggior parte degli altri rilievi.

Nel 1977 sono state rilevate 125 sezioni, poste ad una distanza media di 102 m; le distanze massima e minima tra due sezioni successive valgono invece rispettivamente 131 m e 73 m. In generale il dato relativo a questo rilievo, anche se distribuito spazialmente in maniera regolare, deve essere utilizzato e valutato con accortezza, in quanto in alcuni casi appare poco affidabile se posto a confronto con quello estratto da altri rilievi.

Rilievo 1983. Le sezioni rilevate nell'anno 1983 sono comprese tra le città di Verona e di Legnago, per un tratto di lunghezza pari a 66 km.

Le sezioni rilevate sono identificate da numeri interi compresi tra 909 e 1105, talvolta abbinati ad una lettera nel caso in cui nella stessa zona il rilievo sia stato effettuato anche lungo un transetto obliquo rispetto alle sponde.

Per ognuna delle sezioni sono riportate in un unico *file* database le coordinate trasversali e la quota altimetrica dei punti rilevati, i quali non sono corredati da informazione geografica.

Le sezioni rilevate nel 1983, in totale 102, sono poste ad una distanza media di 297 m; le distanze massima e minima tra due sezioni successive valgono invece rispettivamente 325 m e 259 m. In generale le sezioni rilevate nel 1983 sono distribuite in maniera più irregolare rispetto a quelle degli altri rilievi e sono leggermente meno dettagliate in quanto descritte da una densità minore di punti per unità di lunghezza.

Rilievo 1989. Le 248 sezioni rilevate nel 1989 sono relative al tratto compreso nel territorio della provincia veronese, in particolare tra il comune di Borghetto e il capoluogo, caratterizzato da una lunghezza di 48 km.

Per ciascuna sezione, identificata da un numero intero compreso tra 600 e 867, sono indicate in un unico foglio di calcolo le coordinate trasversali, la quota altimetrica e le coordinate GAUSS-BOAGA, ROMA 40 dei punti rilevati. Le sezioni rilevate sono inoltre disponibili in formato DWG.

La collocazione delle sezioni rispetto al riferimento longitudinale è stata stabilita sulla base della tabella contenente la corrispondenza tra gli identificativi delle sezioni rilevate e la coordinata curvilinea.

Le sezioni rilevate nel 1989 sono tra loro poste ad una distanza media di 229 m; le distanze massima e minima tra due sezioni successive valgono invece rispettivamente 253 m e 205 m. La distribuzione delle sezioni rilevate è quindi regolare, e anche se le sezioni sono tra loro maggiormente distanziate rispetto a quelle rilevate in Alto Adige e in Trentino forniscono nel loro insieme una buona descrizione del tratto.

Rilievo 1996. Il rilievo effettuato nel 1996 è l'unico che copre l'intera asta del fiume Adige, dalla sorgente, collocata presso il passo Resia, alla foce, per una lunghezza complessiva di 410 km.

Le sezioni rilevate sono in totale 1437; per ciascuna di queste, in *file* di testo separati, sono indicati il numero identificativo (un intero compreso tra 1 e 1437), le coordinate

trasversali, la quota altimetrica e le coordinate GAUSS-BOAGA, ROMA 40 dei punti rilevati. Le sezioni rilevate sono inoltre disponibili in formato DWG.

La collocazione delle sezioni rispetto al riferimento longitudinale è stata stabilita sulla base della tabella contenente la corrispondenza tra gli identificativi delle sezioni rilevate e la coordinata curvilinea.

Le sezioni rilevate presentano una distanza media di 219 m; questa distanza è doppia nel primo tratto compreso tra la sorgente e Merano (questa zona comunque non è stata considerata per l'analisi altimetrica, in quanto non erano disponibili altri dati per il confronto).

In generale il rilievo 1996 è quello che comprende il maggior numero di sezioni per tratti di assegnata lunghezza, tuttavia non sempre il dato è affidabile: è dunque necessario porre particolare attenzione nella selezione e nell'utilizzo di queste informazioni, in maniera da evitare quanto più possibile errori grossolani nella valutazione delle variazioni della quota del fondo e della forma delle sezioni.

Rilievo 2005. Le sezioni rilevate nell'anno 2005 sono relative al tratto compreso tra Merano e la confluenza con il torrente Noce, in prossimità dei confini dell'Alto Adige.

Per ognuna delle sezioni, in *file* di testo separati sono riportate le coordinate trasversali e la quota altimetrica dei punti rilevati; ad ogni coppia di coordinate è inoltre associato un codice aggiunto per specificare le caratteristiche dell'alveo per quanto riguarda la scabrezza del fondo (vengono segnalate ad esempio la presenza di vegetazione e le dimensioni del sedimento). L'identificativo di ciascuna sezione, un numero intero compreso tra 80 e 247, è riportato nel nome del *file* di testo. Le sezioni rilevate sono inoltre disponibili in formato DWG.

L'informazione contenuta nei sopracitati *file* è stata poi integrata con quella riportata in un foglio di calcolo nel quale sono elencate, per ognuno dei punti, l'identificativo, il codice descrittivo, la quota altimetrica e le coordinate in due diversi sistemi di riferimento e proiezioni, ovvero GAUSS-BOAGA, ROMA 40 e WGS 84, UTM 32N.

La posizione delle sezioni in relazione all'asse longitudinale è stata poi stabilita sulla base della tabella nella quale per ogni sezione rilevata è indicata la distanza dall'origine del riferimento curvilineo.

Le sezioni rilevate nel 2005, in totale 162 per un tratto lungo 57 km, sono tra loro poste ad una distanza media di 100 m; le distanze massima e minima tra due sezioni successive valgono invece rispettivamente 130 m e 73 m. La distribuzione delle sezioni può dunque essere ritenuta regolare e consente di ricavare una descrizione abbastanza precisa del tratto considerato.

Rilievo 2010. Nel 2010 è stato effettuato un rilievo nel tratto compreso tra la confluenza dell'Adige con il Noce e il comune di Borghetto, quindi per lo più all'interno del territorio della Provincia Autonoma di Trento, ottenendo un'informazione che integra il dato rilevato nel 2005.

Il materiale fornito è costituito da un modello digitale batimetrico di risoluzione pari a 1 m, corredato dalle monografie dei caposaldi delle sezioni e da uno *shapefile* che riporta le quote altimetriche e le coordinate WGS 84, UTM 32N dei soli punti rilevati all'interno dell'alveo.

Tramite gli strumenti provvisti dal *software* GRASS GIS, le sezioni di interesse sono state individuate tracciando dei transetti passanti per i punti dell'alveo; in un secondo momento lungo ciascuno di questi è stato estratto il profilo altimetrico, utilizzando un'istruzione che permette di scrivere su *file* di testo separati la sequenza delle quote aggiungendo le coordinate relative a ogni punto. I profili sono stati estratti alla stessa risoluzione della batimetria, ottenendo quindi una descrizione delle singole sezioni molto precisa e dettagliata.

Le coordinate relative al riferimento longitudinale con origine coincidente con la sorgente dell'Adige sono state assegnate sulla base della sovrapposizione planimetrica delle sezioni con quelle rilevate nel 1996, verificata tramite GRASS.

Le sezioni rilevate nel 2010, complessivamente 407 per un tratto lungo 75 km, sono tra loro poste ad una distanza media di 167 m; le distanze massima e minima tra due sezioni successive valgono invece rispettivamente 205 m e 130 m.

Tabella 1. Riepilogo delle informazioni disponibili per ciascuno dei rilievi.

Rilievo	x [km]	L [km]	N	coordinate GAUSS-BOAGA	coordinate WGS 84
1929	114.5 – 129.5	15.03	16	✗ (Ora – confluenza Noce)	✗
1952	114.5 – 129.5	15.03	16	✗ (Ora – confluenza Noce)	✗
1954	253.2 – 410.1	156.95	437	✓ (Verona – foce)	✗
1968	145.7 – 156.2	10.56	75	✓ (Trento)	✗
1971	72.7 – 145.5	72.87	237	✓ (Merano – Trento)	✗
1971	156.3 – 205.0	48.69	262	✓ (Trento – Borghetto)	✗
1977	73.2 – 130.6	57.42	122	✗ (Merano – confluenza Noce)	✗
1983	258.7 – 324.8	66.11	102	✗ (Verona – Legnago)	✗
1989	205.2 – 252.9	47.72	248	✓ (Borghetto – Verona)	✗
1996	0.0 – 410.1	410.10	1437	✓ (Passo Resia – foce)	✗
2005	73.2 – 130.0	56.76	162	✓ (Merano – confluenza Noce)	✓
2010	130.4 – 205.0	74.58	407	✗ (confluenza Noce – Borghetto)	✓

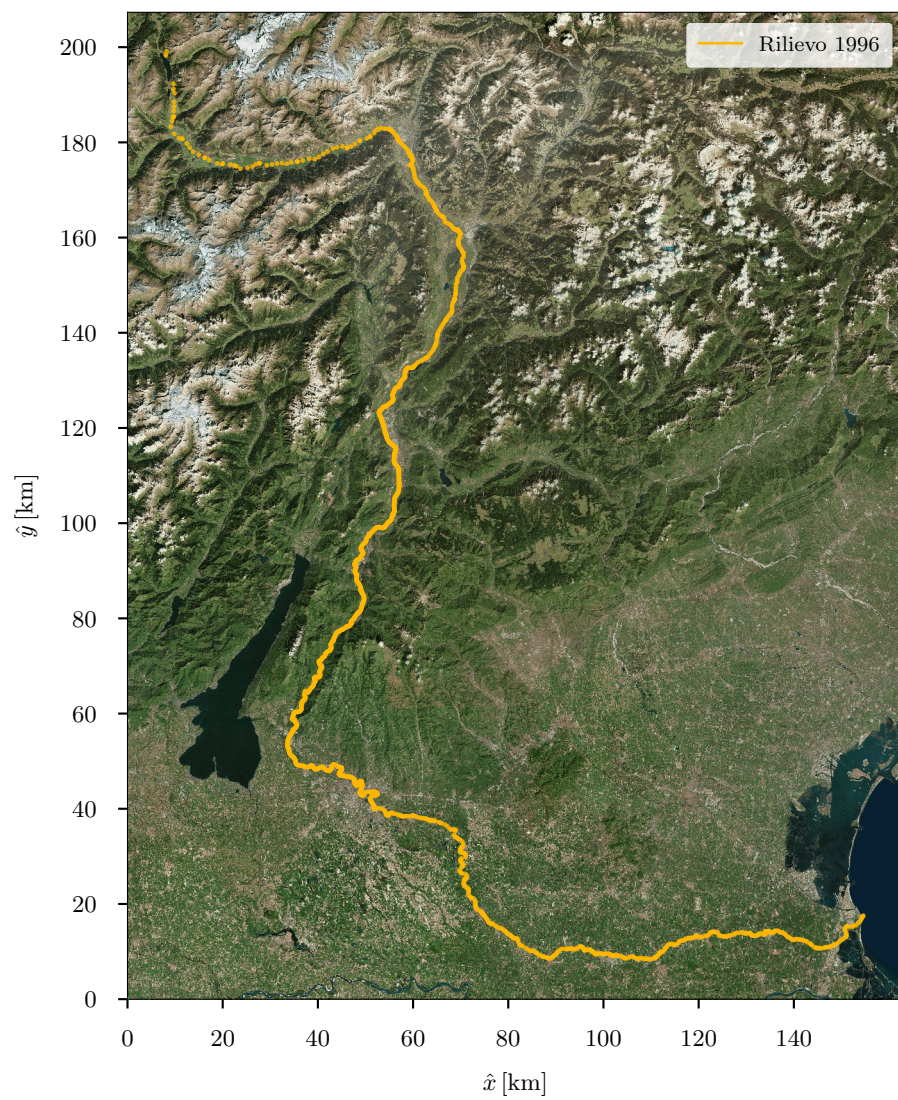


Figura 1. Tratto interessato dal rilievo effettuato nell'anno 1996 lungo l'intera asta del fiume Adige. Immagine satellitare da Bing Maps.

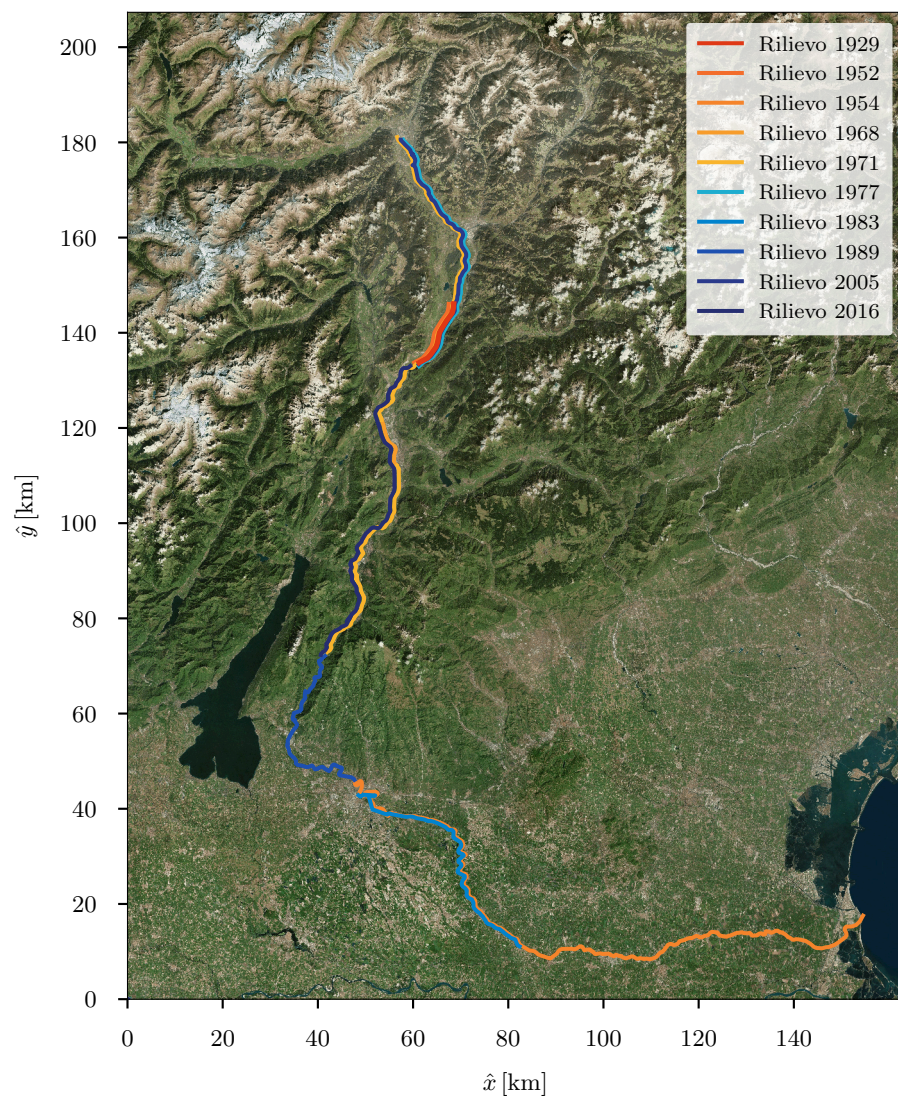


Figura 2. Tratti interessati da rilievi effettuati dal 1929 al 2016 in tratti di lunghezza ridotta rispetto all'intera asta del fiume. Immagine satellitare da Bing Maps.

2 Metodi di elaborazione

Sul dataset originale sono state effettuate principalmente due serie di elaborazioni, finalizzate in primo luogo ad individuare un sistema di riferimento trasversale comune per ciascun transetto e in secondo luogo a convertire le coordinate geografiche dei punti in conformità di un unico sistema di riferimento e proiezione; contestualmente, per i rilievi originariamente sprovvisti di informazione geografica, sono state ricostruite delle coordinate di massima sulla base dei risultati della procedura di allineamento. Vengono di seguito illustrati i passaggi eseguiti.

2.1 Allineamento delle sezioni

Si osserva che rilievi effettuati in anni diversi lungo il medesimo transetto sono legati a sistemi di riferimento aventi origini non coincidenti tra loro: si procede dunque innanzitutto stabilendo un'origine comune tra rilievi relativi alla stessa coordinata longitudinale, in maniera da rendere immediato il confronto tra le sezioni garantendo la possibilità di realizzarlo per semplice sovrapposizione.

L'obiettivo viene raggiunto utilizzando un codice di calcolo scritto in modo da eseguire una ricerca automatica della distanza tra l'origine del sistema di coordinate di una sezione assunta come riferimento e quella di una seconda sezione. La procedura appare particolarmente vantaggiosa se si considera che il numero di transetti in corrispondenza dei quali sono stati effettuati i rilievi supera le 1400 unità; lo sviluppo dell'algoritmo di allineamento ha permesso dunque di individuare la corretta (o probabile) sovrapposizione fra le sezioni in un tempo nettamente breve rispetto a quello che sarebbe stato necessario impiegare per lo svolgimento manuale delle operazioni.

Una volta nota la distanza tra le due origini, la seconda sezione può essere traslata rispetto a quella di riferimento della distanza ricavata, secondo la relazione

$$y, z = y' + \tau, z' + \Delta z, \quad (1)$$

nella quale τ e Δz sono le coordinate dell'origine del riferimento (y', z') della seconda sezione rispetto a quello principale (y, z) relativo alla prima sezione.

L'algoritmo di definizione di una origine comune delle coordinate dei punti rilevati si articola in due fasi principali, relative agli allineamenti in senso orizzontale e in direzione verticale.

2.1.1 Allineamento orizzontale

Le due sezioni prese in *input* dall'algoritmo sono preventivamente campionate su una griglia uniforme comune a entrambe le sezioni. La sezione di larghezza minore viene poi gradualmente spostata rispetto all'altra, e per ogni posizione viene calcolata una funzione indicativa della qualità delle corrispondenze; questa assumerà il massimo valore se valutata nel punto che rappresenta lo scostamento tra le due sezioni.

La qualità della corrispondenza viene valutata sulla base di due distinte metriche. In particolare, la prima è la correlazione fra i segnali; definite z_1 e z_2 le quote dei punti delle due sezioni e y la coordinata trasversale, per la generica traslazione pari a τ di una sezione rispetto a quella di riferimento la correlazione ρ viene valutata tramite

l'espressione

$$\rho(z_1, z_2, \tau) = \int_{\Omega_s} z_1(y) z_2(y - \tau) dy, \quad (2)$$

calcolata sull'area di sovrapposizione dei punti Ω_s , la quale restituisce un valore tanto più elevato quanto più i segnali considerati sono in fase tra loro. Calcolando la correlazione per una sequenza di *offset* τ fra i due riferimenti si ottiene una curva, che idealmente presenta un picco al quale corrisponde l'allineamento corretto fra le sezioni.

La valutazione della seconda metrica presa in considerazione richiede il calcolo delle differenze di altezza tra i punti all'interno della zona di sovrapposizione delle due sezioni in esame; di queste viene poi ricavata la varianza. La distanza verticale fra i due segnali viene ottenuta ponendo

$$u(y, \tau) = z_2(y - \tau) - z_1(y). \quad (3)$$

La distanza verticale media entro la regione di sovrapposizione, di lunghezza

$$\lambda_s = \frac{1}{\Omega_s} \int_{\Omega_s} dy, \quad (4)$$

sarà dunque pari a

$$u_m(y, \tau) = \frac{1}{\lambda_s} \int_{\Omega_s} u(y, \tau) dy. \quad (5)$$

La varianza con norma L_1 viene poi ottenuta come media dei valori assoluti degli scarti calcolati tramite la (5), ovvero

$$V_{L_1} = \frac{1}{\lambda_s} \int_{\Omega_s} |u(y, \tau) - u_m(y, \tau)| dy; \quad (6)$$

questa modalità di calcolo è stata scelta in luogo della valutazione della varianza come media dei quadrati degli scarti in quanto ha permesso di ottenere risultati migliori. Sulla base dei valori assunti dalla varianza L_1 in relazione ad una serie di *offset* fra i due riferimenti si ottiene una curva, che nel caso ideale presenta un punto di minimo assoluto al quale corrisponde l'allineamento corretto fra le sezioni.

Correzione con istogramma delle metriche. Alle due curve rappresentanti gli andamenti della correlazione e della varianza L_1 in funzione dello scostamento tra le sezioni viene applicata una correzione, che costituisce dunque una terza metrica presa in considerazione per effettuare l'allineamento.

Ad una determinata traslazione τ corrisponde una regione di sovrapposizione Ω_s e un insieme di distanze verticali u_i , con $i = 1, \dots, N$. Le sezioni da allineare sono state preventivamente spostate e riscalate in maniera che u_i fosse compreso nell'intervallo $[-2; 2]$, il quale viene diviso in un numero m di sottoinsiemi uguali.

Il fattore correttivo viene calcolato a partire dal vettore delle distanze verticali: si costruisce un istogramma riportando il numero di elementi u_i che ricadono all'interno di ciascuno degli m intervalli di distanza. Dall'istogramma generato vengono poi ricavate due statistiche: si estrae il conteggio relativo alla classe di frequenza più popolata, con lo scopo di individuare tratti delle sezioni che presentano la medesima

forma. Se le classi di distanza sono poche la corrispondenza viene individuata sulla base delle caratteristiche più grossolane, e la dimensione dei tratti significativi decresce aumentando il numero di intervalli.

In secondo luogo, viene effettuato un conteggio del numero di classi rimaste vuote; entrambe le grandezze sono misura della varianza della rappresentazione, in particolare individuare un numero elevato di classi vuote e osservare che la classe più popolata è caratterizzata da un conteggio significativo sono indici di una buona corrispondenza fra le sezioni.

Le due osservazioni riguardanti le classi molto popolate e quelle rimaste vuote vengono infine tradotte in un moltiplicatore delle curve fornite in *input* alla procedura descritta, la quale verrà ripetuta per un numero diverso di intervalli; nello specifico, sono stati utilizzati in questo caso $N = [8, 16, 32, 1024]$ classi. Imponendo $N = 1024$, è possibile individuare corrispondenze molto fini, ovvero forme ben definite e rimaste invariate nel corso del tempo (come ad esempio la forma di argini o pile di ponte), mentre a partire dagli altri valori di N assunti si ottiene un'associazione degli elementi più grossolani.

Combinazione delle metriche. Ottenute, per una coppia di sezioni, le otto curve rappresentanti gli andamenti della correlazione e della varianza L_1 corrette con ciascuna delle scelte di N imposte, se ne calcola una combinazione, ovvero una somma pesata.

Preventivamente, le curve vengono lisceate con una media mobile, in maniera da eliminare eventuali picchi poco significativi introdotti dalla terza metrica come rumore di fondo.

2.1.2 Allineamento verticale

Stabilito il riferimento orizzontale delle sezioni da allineare, è necessario verificarne la corrispondenza lungo la direzione verticale. Le sezioni vengono preventivamente riferite al loro baricentro, applicando le trasformazioni

$$\hat{z}_1 = z_1 - z_{1m}, \quad \hat{z}_2 = z_2 - z_{2m}, \quad (7)$$

calcolando la coordinata verticale del baricentro come

$$z_{1m} = \frac{1}{\lambda_s} \int_{\Omega_s} z_1(y) dy, \quad z_{2m} = \frac{1}{\lambda_s} \int_{\Omega_s} z_2(y) dy. \quad (8)$$

Determinazione della funzione di qualità. In funzione dello spostamento lungo la direzione verticale $\Delta\hat{z}$ vengono calcolati dei pesi, secondo l'espressione

$$w(y) = \frac{1}{h_{\max} w_0 + |(\hat{z}_2 - \Delta\hat{z}) - \hat{z}_1|}, \quad h_{\max} = \max \{ \max \{ |\hat{z}_1| \}, \max \{ |\hat{z}_2| \} \}; \quad (9)$$

la funzione $w(y)$ assume valori tanto più elevati quanto più la differenza tra le quantità $(\hat{z}_2 - \Delta\hat{z})$ e \hat{z}_1 è piccola (ovvero quanto più le sezioni tendono a coincidere), e dunque il suo integrale potrebbe di per sé essere utilizzato come indice di qualità della corrispondenza.

Viene però calcolata una ulteriore misura con lo scopo di verificare che l'allineamento non venga stabilito sulla base di punti collocati alla stessa quota, ovvero tratti rettilinei

sovrapponibili ma privi di una corrispondenza significativa. Per apportare questa correzione, si calcola dapprima una media pesata \hat{z}_2^c delle altezze \hat{z}_2 secondo l'espressione

$$\hat{z}_2^c = \frac{\int_{\Omega_s} \hat{z}_2 w^4 dy}{\int_{\Omega_s} w^4 dy}, \quad (10)$$

la quale seleziona fortemente le zone in cui si verifica la massima corrispondenza fra le due sezioni; successivamente viene calcolato un integrale analogo rappresentativo della distanza dei punti di corrispondenza dal loro baricentro \hat{z}_2^c .

La metrica utilizzata per valutare la qualità dell'allineamento verticale si ottiene tramite la relazione

$$f_q(y) = \left(\int_{\Omega_s} w(y) dy \right) \left(\int_{\Omega_s} |\hat{z}_2 - \hat{z}_2^c| w^4 dy \right), \quad (11)$$

nella quale si riconosce nel primo fattore l'integrale della funzione (9) e nel secondo la correzione sopra discussa.

L'indice f_q viene calcolato per una serie di spostamenti $\Delta\hat{z}$, ottenendo una curva, che idealmente presenta un punto di massimo assoluto al quale corrisponde l'allineamento corretto fra le sezioni; una volta estratto il valore dello scostamento $\Delta\hat{z}$ relativo al punto di massimo, è necessario tenere conto della trasformazione (7) per ottenere il valore della distanza rispetto al riferimento originale,

$$\Delta z = \Delta\hat{z} + (z_{2m} - z_{1m}). \quad (12)$$

Si precisa comunque che gli *offset* determinati in entrambe le direzioni non sono esito di un procedimento che apporta delle correzioni a partire dalle condizioni iniziali, ma costituiscono il risultato di un processo che, senza tenere conto esplicitamente della situazione iniziale (l'algoritmo ne è del tutto indipendente, dal momento che il primo passaggio per l'allineamento sia orizzontale sia verticale è l'assunzione di un riferimento locale) ha individuato correttamente le posizioni corrispondenti all'esatta sovrapposizione fra le sezioni unicamente sulla base della forma delle stesse. Il fatto che l'algoritmo stabilisca le corrette posizioni delle sezioni individuandole in quelle originarie nel caso in cui già a priori risultassero sovrapposte è da considerarsi un valido indice di buona realizzazione del programma.

2.2 Integrazione delle coordinate geografiche

Le coordinate geografiche dei punti rilevati nel corso degli anni non sono relativi ad un unico sistema di riferimento, come indicato in Tabella 1. In alcuni casi (rilievi 1929, 1952, 1977, 1983, 2016), il dato non è corredato da alcuna informazione geografica; in altri (rilievi 1954, 1968, 1971, 1989, 1954), le coordinate sono indicate relativamente al sistema di riferimento e proiezione GAUSS-BOAGA, ROMA 40, ma non anche in base al sistema WGS 84, UTM 32N, oppure viceversa; infine, nell'ambito di un solo rilievo (2005) sono note le coordinate dei punti con riferimento ad entrambi i sistemi citati.

Si è dunque posta la necessità di integrare le informazioni mancanti; l'obiettivo è stato raggiunto tramite due diverse operazioni. La prima consiste nella semplice conversione delle coordinate fra sistemi di riferimento, possibile nei casi in cui le

coordinate siano espresse sulla base di uno dei due sistemi adottati; per quanto riguarda la seconda operazione, si tratta invece di una ricostruzione delle coordinate mancanti, effettuata sulla base dell'allineamento delle sezioni nei casi in cui il dato non fosse in origine corredato da informazione geografica.

Conversione delle coordinate. Allo scopo di effettuare la conversione delle coordinate fra sistemi di riferimento, si è scelto di utilizzare `TRASPUNTO`, programma sviluppato dal Ministero dell'Ambiente dedicato alla conversione di coordinate fra sistemi di interesse nazionale⁽¹⁾.

Dal momento che il programma può essere utilizzato, oltre che tramite l'interfaccia del quale è dotato, anche attraverso riga di comando, l'operazione di conversione è stata integrata nell'ambito del codice sviluppato per effettuare le diverse operazioni relative alla costruzione del database dei rilievi sfruttando una libreria dedicata all'esecuzione di comandi *shell*.

Oltre a `TRASPUNTO`, erano stati prese in considerazione altre due modalità di conversione di coordinate, basate sull'impiego di due differenti librerie di `PYTHON` prettamente dedicate a elaborazioni relative a coordinate geografiche (il modulo `pyproj` e i pacchetti `ogr` e `osr`). Il funzionamento delle tre modalità di conversione citate è stato testato utilizzando i punti del rilievo dell'anno 2005, per i quali si dispone di informazioni geografiche complete; si è osservato le coordinate trasformate mediante `TRASPUNTO` replicavano fedelmente la posizione dei punti (al punto che si è ipotizzato che in fase di rilievo le coordinate fossero state registrate in base a un sistema di riferimento e poi convertite tramite il medesimo strumento), dunque la scelta è ricaduta su questo.

Ricostruzione delle coordinate. Per quanto riguarda le sezioni delle quali non si dispone di informazione geografica, l'approccio adottato è stato quello di ricostruire le coordinate per estrapolazione a partire da quelle delle sezioni di riferimento sfruttate per la procedura di allineamento. Chiaramente, in mancanza di informazioni non è possibile garantire che la localizzazione dei punti sia corretta; in generale, quanto maggiore sarà la somiglianza fra la sezione oggetto della ricostruzione e le altre disponibili per il medesimo transetto, tanto maggiore sarà la probabilità che la localizzazione sia vicina a quella corretta.

In particolare, l'operazione è stata effettuata innanzitutto cercando la retta di regressione lineare dei punti della sezione di riferimento espressi nel sistema di riferimento planimetrico (Est, Nord). A partire dai risultati dell'allineamento della sezione non georiferita, a ciascun punto sono state assegnate delle coordinate calcolate per estrapolazione dalla retta di regressione.

⁽¹⁾Scaricabile gratuitamente all'indirizzo <http://www.mondogis.com/traspunto.html>.

3 Descrizione della struttura dell'output

Distinzione dei risultati delle diverse elaborazioni. Per ciascuno dei rilievi sono state prodotte tre coppie di *file* di *output*: la prima contiene il dato originale, la seconda risultato di un'operazione di trasformazione e integrazione dell'informazione geografica e la terza recante le coordinate in direzione trasversale traslate sulla base di un riferimento comune stabilito per ogni transetto. Le tre situazioni indicate sono identificate, nei nomi dei *file*, tramite tre etichette, rispettivamente

- “0-o” per il dato originale,
- “1-c” per quello relativo alla conversione di coordinate geografiche (se presenti),
- “2-a” con riferimento all'operazione di allineamento delle sezioni e alla ricostruzione delle coordinate geografiche mancanti sulla base dei risultati della procedura di allineamento.

Per ciascun rilievo dunque l'informazione viene fornita in maniera completa ma come se si trattasse di tre rilievi fra loro separati.

L'informazione su tutti i rilievi, infine, viene unificata e collegata tramite un unico *file* (dal nome “rilievi”) nel quale sono elencati i rilievi presenti all'interno del *database*, indicandone identificativo, corso d'acqua di riferimento, data e codice della ditta incaricata del rilievo.

Contenuto dei file. Per ciascuno dei tre casi considerati sono stati stampati due *file* in formato *csv*. Il primo, contraddistinto dal nome “sezioni”, contiene una tabella all'interno della quale, per ognuna delle sezioni rilevate, è indicata una serie di caratteristiche della sezione stessa (tra queste, l'identificativo della sezione, le coordinate e le quote degli estremi, la coordinata progressiva longitudinale, le coordinate e le quote dei pilastri).

Il secondo *file* è contrassegnato dal nome “sezcandele”; la tabella contenuta nel file è composta da colonne indicanti, per ciascun punto rilevato, l'identificativo della sezione di appartenenza, le coordinate geografiche, la quota e la coordinata progressiva in direzione trasversale.

In Tabella 2 sono indicate le informazioni presenti in ciascuno dei due tipi di *file*; nelle Tabelle 3, 4 e 5 sono inoltre specificate sinteticamente le caratteristiche delle informazioni contenute in ciascuna coppia di *file*.

Tabella 2. Struttura dei *file* di *output*.

Attributi del <i>file</i> “sezioni”		
1	id	Numero progressivo della sezione.
2	descr	Breve descrizione.
3	quotasx	Quota dell'estremo sinistro.
4	quotadx	Quota dell'estremo destro.
5	sxest	Coordinata Est dell'estremo sinistro.
6	dxest	Coordinata Est dell'estremo destro.
7	sxnord	Coordinata Nord dell'estremo sinistro.
8	dxnord	Coordinata Nord dell'estremo destro.
9	axest	Coordinata Est del centro.
10	axnord	Coordinata Nord del centro.
11	km	Coordinata progressiva in direzione longitudinale.
12	idfiume	Identificativo del corso d'acqua.
13	accesso	—
14	idvegetazsx	—
15	idvegetazdx	—
16	manufattisx	—
17	manufattidx	—
18	scarichisx	—
19	scarichidx	—
20	quotaax	Quota del centro.
21	idrilievo	Identificativo del rilievo.
22	codcomammsx	Codice del comune amministrativo dell'estremo sinistro.
23	codcomammdx	Codice del comune amministrativo dell'estremo destro.
24	codcomcatsx	Codice del comune catastale dell'estremo sinistro.
25	codcomcatdx	Codice del comune catastale dell'estremo destro.
26	quotamediaalv	—
27	idvegetazalv	—
28	manufattialv	—
29	loblength	—
30	channellength	—
31	roblength	—
32	codsezext	Identificativo del transetto.
33	quotatalweg	—
34	quotapelolibero	—
35	dtpelolibero	Data del rilievo (indicativa).
36	attiva	—
37	cipposxnord	Coordinata Nord del pilastrino sinistro.
38	cipposxest	Coordinata Est del pilastrino sinistro.
39	quotacipposx	Quota del pilastrino sinistro.
40	cippodxnord	Coordinata Nord del pilastrino destro.
41	cippodxest	Coordinata Est del pilastrino destro.
42	quotacippodx	Quota del pilastrino destro.
43	progrilievo	Coordinata progressiva in direzione longitudinale.
44	kmrilievo	—
Attributi del <i>file</i> “sezcandele”		
1	idsezione	Numero progressivo della sezione.
2	id	Identificativo della sezione.
3	quotaslm	Quota del punto.
4	coordest	Coordinata Est del punto.
5	coordnord	Coordinata Nord del punto.
6	idfiume	Identificativo del corso d'acqua.
7	idtipocandela	—
8	progressiva	Coordinata del punto in direzione trasversale.

Tabella 3. Riepilogo delle informazioni contenute nei *file* contrassegnati dell’etichetta “0-o”.

Rilievo	y	z	coordinate GAUSS-BOAGA	coordinate WGS 84	pilastrini ¹
1929	originali	originali	✗	✗ (Ora – confluenza Noce)	✗
1952	originali	originali	✗	✗ (Ora – confluenza Noce)	✗
1954	originali	originali	✓	✗ (Verona – foce)	✓
1968	originali	originali	✓	✗ (Trento)	✓
1971	originali	originali	✓	✗ (Merano – Trento)	✓
1971	originali	originali	✓	✗ (Trento – Borghetto)	✓
1977	originali	originali	✗	✗ (Merano – confluenza Noce)	✗
1983	originali	originali	✗	✗ (Verona – Legnago)	✗
1989	originali	originali	✓	✗ (Borghetto – Verona)	✓
1996	originali	originali	✓	✗ (Passo Resia – foce)	✓
2005	originali	originali	✗	✓ (Merano – confluenza Noce)	✗
2016	originali	originali	✗	✓ (confluenza Noce – Borghetto)	✗

¹ Le coordinate dei pilastrini sono fornite nel sistema GAUSS-BOAGA, ROMA 40.

Tabella 4. Riepilogo delle informazioni contenute nei *file* contrassegnati dell’etichetta “1-c”.

Rilievo	<i>y</i>	<i>z</i>	coordinate GAUSS-BOAGA	coordinate WGS 84	pilastrini ¹
1929	originali	originali	✗	✗ (Ora – confluenza Noce)	✗
1952	originali	originali	✗	✗ (Ora – confluenza Noce)	✗
1954	originali	originali	✗	✓ ² (Verona – foce)	✓
1968	originali	originali	✗	✓ ² (Trento)	✓
1971	originali	originali	✗	✓ ² (Merano – Trento)	✓
1971	originali	originali	✗	✓ ² (Trento – Borghetto)	✓
1977	originali	originali	✗	✗ (Merano – confluenza Noce)	✗
1983	originali	originali	✗	✗ (Verona – Legnago)	✗
1989	originali	originali	✗	✓ ² (Borghetto – Verona)	✓
1996	originali	originali	✗	✓ ² (Passo Resia – foce)	✓
2005	originali	originali	✗	✓ (Merano – confluenza Noce)	✗
2016	originali	originali	✗	✓ (confluenza Noce – Borghetto)	✗

¹ Le coordinate dei pilastrini sono convertite nel sistema WGS 84, UTM 32N.

² Coordinate convertite dal sistema GAUSS-BOAGA, ROMA 40 a WGS 84, UTM 32N.

Tabella 5. Riepilogo delle informazioni contenute nei *file* contrassegnati dell’etichetta “2-a”.

Rilievo	y^4	z^4	coordinate GAUSS-BOAGA	coordinate WGS 84	pilastrini ¹
1929	allineate	allineate	✗	✓ ³ (Ora – confluenza Noce)	✗
1952	allineate	allineate	✗	✓ ³ (Ora – confluenza Noce)	✗
1954	allineate	allineate	✗	✓ ² (Verona – foce)	✓
1968	allineate	allineate	✗	✓ ² (Trento)	✓
1971	allineate	allineate	✗	✓ ² (Merano – Trento)	✓
1971	allineate	allineate	✗	✓ ² (Trento – Borghetto)	✓
1977	allineate	allineate	✗	✓ ³ (Merano – confluenza Noce)	✗
1983	allineate	allineate	✗	✓ ³ (Verona – Legnago)	✗
1989	allineate	allineate	✗	✓ ² (Borghetto – Verona)	✓
1996	originali	originali	✗	✓ ² (Passo Resia – foce)	✓
2005	allineate	allineate	✗	✓ (Merano – confluenza Noce)	✗
2016	allineate	allineate	✗	✓ (confluenza Noce – Borghetto)	✗

¹ Le coordinate dei pilastrini sono convertite nel sistema WGS 84, UTM 32N.

² Coordinate convertite dal sistema GAUSS-BOAGA, ROMA 40 a WGS 84, UTM 32N.

³ Coordinate ricostruite sulla base degli allineamenti nel sistema WGS 84, UTM 32N.

⁴ Allineamento effettuato con riferimento alle sezioni rilevate nel 1996.