

# **La quota ortometrica sull'asse Brescia-Tonale. Considerazioni sui risultati prodotti dal software Verto2 e analisi dello stato di conservazione dei riferimenti altimetrici dalla pianura ad un passo alpino.**

Costante BONACINA (\*), Giorgio VASSENA (\*)

(\*) Università degli Studi di Brescia, via Branze 38 - 25123 Brescia, tel 030 3715411, fax 030 3715503, costante.bonacina@ing.unibs.it, giorgio.vassena@ing.unibs.it

## **Riassunto**

I riferimenti altimetrici presenti nella parte settentrionale della provincia di Brescia, come quelli del resto d'Italia, sono stati materializzati e misurati dall'Istituto Geografico Militare a partire dal 1878 fino alla prima metà degli anni '50 del secolo scorso, a costituire la rete di livellazione fondamentale di alta precisione. Le quote di tale rete, per la parte continentale del territorio nazionale, sono tutte riferite al livello medio del mare del solo mareografo di Genova al 1942.

Modellazioni variamente risolte del geoidi terrestre sono state realizzate ed introdotte nella pratica topografica, nel corso degli ultimi 15 anni, per permettere il passaggio tra il SDR altimetrico in cui opera il sistema di posizionamento satellitare GPS e quello storicamente riferito alla curva che annulla il potenziale gravitazionale terrestre, con accuratezza variabile in funzione della fedeltà del modello alla realtà.

L'Università degli Studi di Brescia, in collaborazione con l'Ufficio Cartografia e GIS della Provincia di Brescia, ha avviato una campagna di ricognizione e di misurazione sui capisaldi della rete altimetrica fondamentale situati lungo l'asse Brescia-Passo del Tonale.

Il presente contributo riporta i risultati del lavoro di ricerca storica, di ricognizione, di misurazione con strumentazione satellitare e di trasformazione dei valori di quota dei capisaldi rinvenuti.

## **Abstract**

The altimetric references present in the northern part of province of Brescia, as those of the rest of Italy, have been materialized and measured by the Military Geographical Institut from 1878 to the first half of '50 years of the last century, to constitute the high-precision levelling net.

The altitude of the net, for the continental part of the national territory, are all reported to sea-level of the marigraph of Genova for the 1942.

Modelling variedly resolved of the terrestrial geoid are been realized and introduced in the topographical practice during the last 15 years to allow the passage between the GPS altimetric reference frames and the one historic mean sea-level.

The University of Brescia, in collaboration with the office of Cartography and GIS of the province of Brescia, have started a campaign of recognition and measurement on the markers of the fundamental altimetric net placed along the axis Brescia-Tonale.

The present contribution is about the results of historical research, recognition, measurement with GPS and about elevation of the markers recovered.

## **Considerazioni preliminari**

Uno degli aspetti che inibisce la diffusione nella pratica topografica delle tecniche di rilevamento con strumentazione satellitare è legato all'incertezza sulla determinazione della quota ortometrica, notoriamente ottenuta applicando alla quota ellissoidica il valore di ondulazione del geoidi sull'ellissoide nel punto rilevato.

L'utilizzo di modelli del geoide discreti frequentemente ottenuti per interpolazione di un numero significativo di valori misurati su scala continentale o nazionale, determina, rispetto ai riferimenti altimetrici fisicamente materializzati (capisaldi di livellazione), scostamenti crescenti dalle zone pianeggianti, ove il potenziale terrestre è sostanzialmente regolare, verso le zone montuose, ove la presenza di importanti massicci induce localmente delle perturbazioni che mal vengono recepite dai modelli su vasta scala.

E' da considerare inoltre il fatto che i cambiamenti del tessuto urbano hanno portato, in special modo nelle zone a forte urbanizzazione, alla scomparsa dei capisaldi, rendendo di fatto debole la presenza di riferimenti altimetrici assoluti di precisione per lunghi tratti delle linee di livellazione.

Il software Verto2 realizzato e distribuito dall'Istituto Geografico Militare, permette di ottenere le quote geoidiche relative al mareografo di Genova mediante trasformazione di quote ellissoidiche WGS84 (ETRS89), applicando alla componente altimetrica delle coordinate il modello di geoide nazionale ITALGEO99, con scarti residui massimi che si attestano, per l'Italia continentale, attorno ai 15 cm.

L'Università degli Studi di Brescia ha avviato uno studio sullo stato di conservazione dei riferimenti altimetrici che costituiscono parte delle linee di livellazione 52 (Brescia-Edolo) e 57 (Edolo-Bolzano) ed ha condotto le operazioni di rimisurazione con GPS di alcuni dei capisaldi rinvenuti, disposti lungo l'asse viario principale che da Brescia conduce al Passo del Tonale.

La quota dei capisaldi risulta dall'adozione di modelli di geoide variamente calibrati e aventi diversa accuratezza.

### **Le fasi operative**

L'individuazione "sul campo" dei capisaldi monografati nei "Cataloghi dei capisaldi della livellazione geometrica (nuova rete del 1949)" è operazione laboriosa considerando lo stato di avanzata urbanizzazione sopravvenuto dall'epoca di stesura delle monografie, specialmente nella pianura Padana e nei centri turisticamente sviluppati della Valle Camonica; duole constatare inoltre che un numero considerevole di contrassegni è stato rimosso o coperto da nuove pavimentazioni.

Tra i capisaldi rinvenuti è stata operata una selezione di 22 contrassegni che distano tra loro da un minimo di 1200 metri ad un massimo di 10190 metri; tale densità è stata considerata adeguata a costituire un campione significativo di elementi disseminati sul territorio.

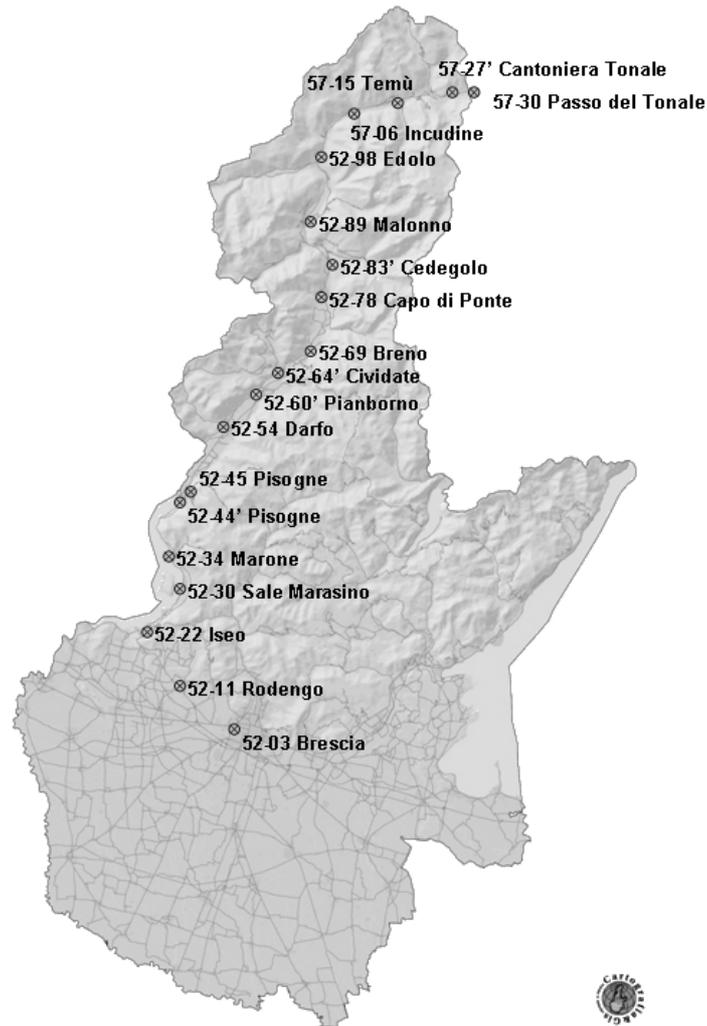
Considerato che i capisaldi della rete altimetrica fondamentale non sono stazionabili con treppiede topografico, il loro inquadramento altimetrico nel SDR ETRS89 è stato effettuato indirettamente avvalendosi di capisaldi di nuova istituzione opportunamente posizionati nei pressi dei contrassegni IGM; la quota dei capisaldi di livellazione è stata propagata ai nuovi punti con poche battute di livellazione geometrica.

I punti di nuova istituzione sono stati riferiti al *frame* Europeo ETRF89 vincolandone le coordinate ai punti della realizzazione italiana, la rete IGM95, ed al raffittimento regionale lombardo, pure inquadrato, per derivazione, nel sistema di riferimento europeo [Bezoari, et al. 2002].

Si evidenzia che i punti della rete IGM95 coinvolti sono appartenenti al sottoprogetto GEOTRAV, quindi anch'essi sono stati collegati alle linee di livellazione [Bianchi e Mugolino, 1995].

La georeferenziazione dei vertici di supporto è stata condotta nel rispetto delle "Specifiche tecniche" per il "Raffittimento della rete fondamentale IGM95" redatte dal gruppo di lavoro Reti plano-altimetriche dell'Intesa Stato, Regioni, Enti locali 26/9/96 sui Sistemi Informativi Geografici.

Sono state misurate due baseline (di lunghezza media 7 km, con stazionamento medio di un'ora) congiungenti punti ETRF89 a ciascuno dei punti di nuova determinazione ed è stata compensata ai minimi quadrati l'intersezione ottenuta; gli scarti residui sulle coordinate, per quanto riguarda la componente altimetrica, sono pienamente compatibili con la precisione dichiarata del *frame* italiano.



*Figura 1 - Distribuzione entro la provincia di Brescia dei capisaldi di livellazione oggetto del rilevamento*

## **Risultati**

Dai capisaldi di livellazione posti poco distanti, la quota ortometrica è stata propagata mediante livellazione geometrica ai vertici di nuova istituzione.

La quota ortometrica di tali vertici è stata al contempo calcolata applicando i valori di ondulazione del geoide restituiti dal software Verto2, ottenuti per interpolazione di un grigliato di valori derivati dal modello ITALGEO99 [Arsenio, et al. 2002].

Le differenze tra i due valori di quota ortometrica ottenuti per ciascun punto, entrambi dichiarati validi ufficialmente dall'IGMI, hanno valori compresi, in valore assoluto, tra 0,01 m e 0,22 m, valore medio 0,13 m con andamento crescente dalla pianura verso la valle Camonica. E' evidente la discontinuità presente nei valori di ondulazione in corrispondenza del basso lago d'Iseo, in questa zona il modello di geoide globale descrive con notevole accuratezza la superficie fisica.

E' tuttavia interessante notare come una semplice operazione di "adattamento" del modello di geoide globale alla realtà del territorio provinciale permetta di abbattere l'errore di valutazione della quota ortometrica: realizzando un piano interpolante, su scala provinciale, gli scostamenti dei valori di ondulazione ITALGEO99 da quelli noti puntualmente per i punti IGM95-GEOTRAV si ottiene un riferimento, nel seguito denominato LocalGEO, che appare rototraslato, ma invariato per quanto attiene la forma, rispetto all'originale.

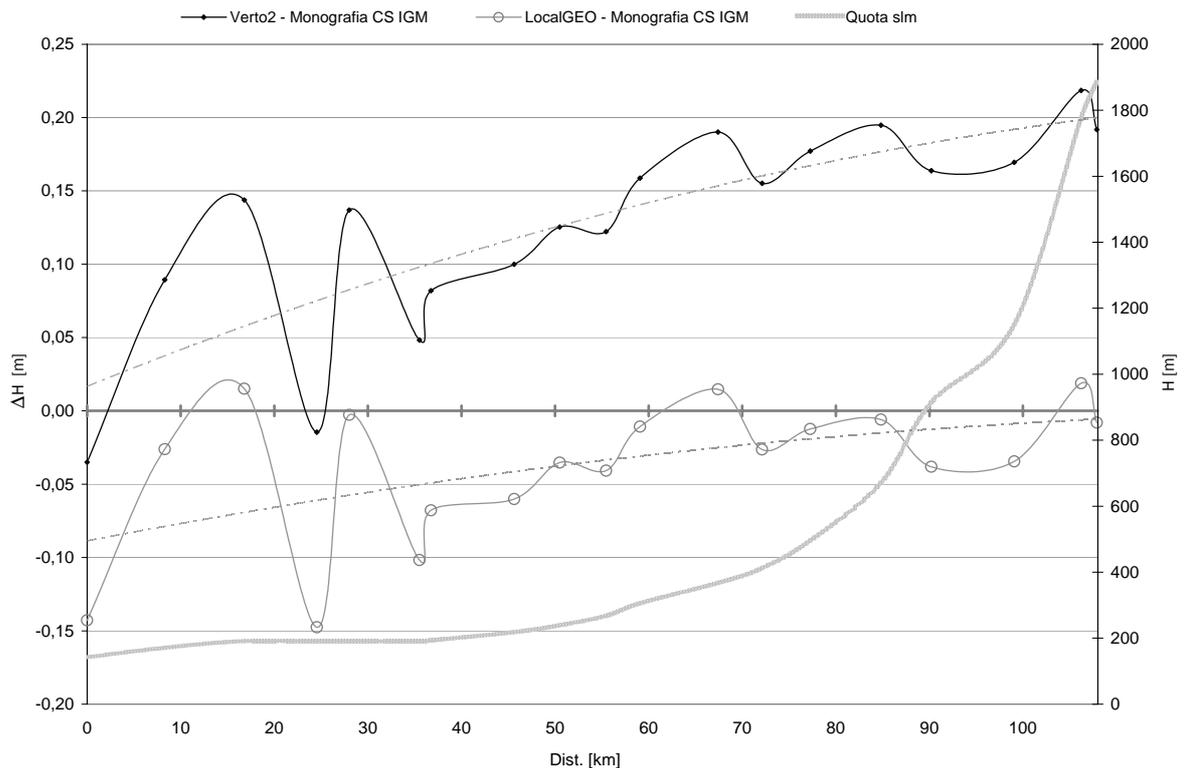


Figura 2 - Scostamenti tra i valori di quota ottenuti con il software Verto2 e i valori di monografia dei CS di livellazione IGMI.

L'operazione descritta, eseguita per la Provincia di Brescia dal DIAR del politecnico di Milano, ha permesso di confrontare un modello terzo: gli scarti tra i valori di quota LocalGEO e quelli da monografia, per i punti oggetto di studio, sono contenuti nell'intervallo 0,00 – 0,15 m con un valore medio di 0,04m, notevolmente inferiore di quello ottenuto dal modello nazionale.

MONOGRAFIE CS IGM di LIVELLAZIONE			Verto2		LocalGEO	
CS livellazione IGM	H CS IGM [m]	H CS [m]	$\Delta$ [m]	H CS[m]	$\Delta$ [m]	
52-03 BRESCIA chiesa S.Giacomo	142,25	142,22	-0,04	142,11	-0,14	
52-11 cascina Casotto	170,88	170,97	0,09	170,85	-0,03	
52-22 Iseo stazione	191,65	191,80	0,14	191,67	0,02	
52-30 Sale Marasino C. Redano	190,12	190,10	-0,01	189,97	-0,15	
52-34 Marone chiesa parrocchiale	191,46	191,59	0,14	191,45	0,00	
52-44' Pisogne stazione	189,75	189,80	0,05	189,65	-0,10	
52-45 Chiesa S.Girolamo	193,59	193,67	0,08	193,52	-0,07	
52-54' Darfo Chiesa parrocchiale	218,30	218,39	0,10	218,23	-0,06	
52-60 Pian di Borno	239,38	239,51	0,13	239,35	-0,04	
52-64' Cividate-Malegno stazione	267,61	267,74	0,12	267,57	-0,04	
52-69 Breno	305,98	306,14	0,16	305,97	-0,01	
52-78 Capo d Ponte	367,52	367,71	0,19	367,54	0,01	
52-83' Cedegolo stazione	412,58	412,73	0,16	412,55	-0,03	
52-89 Malonno	496,05	496,23	0,18	496,04	-0,01	
52-98 Edolo	671,05	671,24	0,19	671,04	-0,01	
57-06 Incudine	914,44	914,61	0,16	914,40	-0,04	
57-15 Temù	1150,39	1150,56	0,17	1150,36	-0,03	
57-27' Cantoniera tonale	1778,19	1778,41	0,22	1778,21	0,02	
57-30 Sacratio Tonale	1885,91	1886,10	0,19	1885,90	-0,01	

Figura 3 - Valori di quota ortometrica e scostamenti da monografia dei vertici di nuova istituzione.

## **Conclusioni**

I risultati delle trasformazioni evidenziano il decadimento della fedeltà dei modelli alla realtà procedendo da Brescia verso il passo del Tonale, in particolar modo durante l'avvicinamento al massiccio dell'Adamello.

E' altrettanto evidente che l'efficienza del modello su vasta scala può essere notevolmente incrementata senza effettuare ulteriori misurazioni, semplicemente portando ad aderire il modello localmente sul riferimento geoidico.

Dal punto di vista più "pratico" è palese la scarsa manutenzione riservata ai CS di livellazione, che sono in qualche caso stati rimossi o coperti, e occasionalmente spostati senza che ne venisse data comunicazione all'IGMI.

## **Ringraziamenti**

Un doveroso ringraziamento per la disponibilità e la collaborazione è rivolto all'ing. Antonio Trebeschi e all'ing. Ennio Ferri del Servizio Cartografia – GIS e Legge Valtellina della Provincia di Brescia.

## **Bibliografia**

Barbarella M., Gavaruzzi R., Ronci E. (2003), *Reti di raffittimento GPS 7 e loro inquadramento*, Atti della 7° Conferenza Nazionale ASITA – Verona 28-31 ottobre 2003, pp. 185 – 190;

Pellegrinelli A., Perfetti N., Russo P. (2003), *Raffittimento della rete IGM95 nella provincia di Ferrara: analisi dei risultati e considerazioni*, Atti della 7° Conferenza Nazionale ASITA – Verona 28-31 ottobre 2003, pp. 1587 – 1592.

Arsenio G., Coticchia A., Donatelli D., Maseroli R., Pierozzi M. (2002), *Il nuovo metodo dell'IGM per il passaggio fra sistemi di riferimento ed il software Verto1*, Atti della 6° Conferenza Nazionale ASITA – Perugia 5-8 novembre 2002, pp. 189 – 194;

Barbarella M., Carella P. (2002), *Adattamento di Modelli di Ondulazione nell'ambito di reti di raffittimento*, Atti della 6° Conferenza Nazionale ASITA – Perugia 5-8 novembre 2002, pp. 307 – 308;

Bezoari G., Crotta S., Guzzetti F., Laffi R. (2002), *Il raffittimento della rete IGM95 in territorio lombardo*, Atti della 6° Conferenza Nazionale ASITA – Perugia 5-8 novembre 2002, pp. 423 – 428;

