

La nuova infrastruttura GNSS a supporto dell'attività del Catasto della Repubblica di San Marino

V. Casella (*), M. Franzini (*), B. Padova (*), L. Mazza (**)

(* DIET, Università degli Studi di Pavia, via Ferrata, 1 - 27100 Pavia
(vittorio.casella, marica.franzini, barbara.padova)@unipv.it

(**) Ufficio Tecnico del Catasto, Via Piana, 42 - 47890 Repubblica di San Marino, lucia.mazza.catasto@pa.sm

Riassunto. L'articolo illustra alcune attività della collaborazione tra l'Ufficio Tecnico del Catasto della Repubblica di San Marino e il Laboratorio di Geomatica dell'Università di Pavia, avente come scopo ultimo l'adozione delle tecniche GNSS per le attività del Catasto.

Vengono descritti: la stazione GNSS permanente creata e gestita dal Catasto di San Marino; la nuova rete GNSS che rappresenta il datum WGS84 per lo Stato; la metodologia adottata per la trasformazione di datum planimetrico; la rete di livellazione geometrica recentemente creata e rilevata; il modello di ondulazione geoidica che ne è stato ricavato; il programma TDSM che effettua la trasformazione di datum planimetrico e altimetrico per San Marino.

Abstract. Present paper illustrates some activities carried out within a collaboration between the Cadastral Technical Department of the Republic of San Marino and the Geomatics Laboratory of the University of Pavia, whose final goal is the adoption of the GNSS measuring techniques for daily cadastral surveying.

The following topics are addressed: the GNSS CORS which is operated by the San Marino Cadastre; the newly created GNSS San Marino network, representing the WGS84 reference system for the country; the adopted methodology for datum transformation between RSM50 and WGS84; the recently created leveling network; the geoid undulation model created from it; the TDSM software program, performing altimetric and planimetric datum conversions for the San Marino area.

1. Introduzione

Il Catasto della Repubblica di San Marino opera da tempo con il supporto delle migliori tecnologie informatiche, per quanto riguarda la memorizzazione e la gestione dei dati: tutte le informazioni del Catasto Terreni sono contenute in un sistema informativo territoriale e la loro consultazione da parte dei cittadini viene effettuata con appositi terminali; allo stesso modo, l'emissione di certificati si avvale di un buon supporto informatico.

Il sistema di riferimento usato a San Marino è materializzato da una rete creata e rilevata alla fine degli '40. La cartografia d'impianto è stata realizzata nello stesso periodo con metodologia aerofotogrammetrica, con la supervisione di tecnici del Catasto Italiano; essa adotta la tradizionale proiezione di Cassini-Soldner. Va notato tra l'altro che la cartografia catastale è l'unica esistente a San Marino, dunque viene usata anche come carta tecnica.

Il rilievo di nuove entità è effettuato da personale dell'Amministrazione con metodologie topografiche classiche. Il desiderio di aprire il Catasto alle nuove tecnologie e metodologie di rilievo ha spinto la Dirigente, arch. Lucia Mazza, ad intraprendere un Progetto in collaborazione con il Laboratorio di Geomatica dell'Università di Pavia, avente come scopo ultimo l'adozione del GPS per il rilievo catastale.

Il Progetto è stato concluso nel settembre 2010 e l'articolo descrive le principali attività che lo costituivano: la creazione di una stazione GNSS permanente; la creazione di una rete statica GNSS sul territorio della Repubblica; la stima della trasformazione di datum tra il sistema di riferimento del GPS ed il sistema di riferimento di San Marino; la realizzazione di una rete altimetrica e la stima dell'ondulazione geoidica.

2. La stazione GNSS permanente

Dal mese di marzo 2009 è attiva, presso l'Ufficio Tecnico del Catasto della Repubblica di San Marino, una stazione GNSS permanente denominata d'ora in poi RSMC. L'antenna, una Leica LEIAR25 dotata di dome, è monumentata sul tetto dell'edificio ospitante gli uffici del Catasto; il ricevitore è un Leica GRX1200 e traccia sia i satelliti GPS sia i Glonass. Vengono memorizzati i dati statici a 1 e 30 secondi, in formato RINEX, in file aventi lunghezza di 1 ora e 24 ore, rispettivamente; vengono inoltre generate le correzioni differenziali di fase distribuite in rete secondo i protocolli internazionali.

3. L'inquadramento della stazione permanente

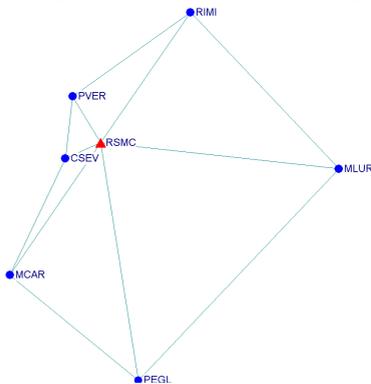


Figura 1 – Schema del rilievo dei vertici IGM95.

La stazione RSMC è stata inquadrata nella rete italiana IGM95. È stata rilevata dai tecnici del Catasto di San Marino una rete costituita da RSMC e dai 6 vertici IGM95 prossimi: Rimini, Ponte Verrucchio, Casa Severini, Monte Carpegna, Peglio e Monteluro. Lo schema adottato per il rilievo è riportato in Figura 1.

La stazione è stata inquadrata in IGM95-ETRF89, ma anche nel sistema di riferimento RDN-ETRF2000 rappresentato in Italia dalla Rete Dinamica Nazionale (RDN). Tale seconda determinazione è stata ottenuta stimando una trasformazione di Helmert che connette i due sistemi di riferimento, per il territorio di San Marino.

Un tale scelta è basata sull'assunzione che la trasformazione ETRF89 → ETRF2000 sia ben modellizzabile, per la zona di San Marino (avente estensione di circa 10x10 kmq), con una Helmert.

IGM95-ETRF89	Coord. Geografiche WGS84		Coord. Cartografiche UTM33N-WGS84	
	Latitudine [deg]	43°56'08.3109" N	Est [m]	294954.211
Longitudine [deg]	12°26'43.0311" E	Nord [m]	4867897.649	
Alt. ellis. [m]	669.342			
RDN-ETRF2000	Latitudine [deg]	43°56'08.3133" N	Est [m]	294954.193
	Longitudine [deg]	12°26'43.0302" E	Nord [m]	4867897.724
	Alt. ellis. [m]	669.266		

Tabella 1 – Coordinate stazione RSMC nei sistemi ETRF89 ed ETRF2000.

Per effettuare la stima sono stati usati come punti doppi i 6 vertici IGM95 indicati in Figura 1, in quanto l'Istituto Geografico Militare (IGM) mette a disposizione sul web, per ogni vertice IGM95, le differenze di coordinate ($\Delta\varphi, \Delta\lambda$) oppure ($\Delta E, \Delta N$) da sommare alla determinazione ETRF89 per avere la determinazione ETRF2000. La trasformazione di coordinate trovata potrà essere usata non solo per convertire le coordinate di RSMC, ma per convertire le coordinate di qualunque punto di cui si

conoscano le ETRF89, per la zona di San Marino. La Tabella 1 sintetizza le coordinate della stazione RSMC nei due sistemi di riferimento.

4. La rete GNSS della Repubblica di San Marino

La rete GNSS di San Marino materializza il sistema di riferimento WGS84 per lo Stato e costituisce un primo e importante contributo per la creazione di un insieme denso di punti noti e affidabili, che potranno essere usati da tecnici del Catasto, da tecnici di altri Uffici e anche da professionisti. Tra le attività che l'Ufficio del Catasto intende svolgere nei prossimi anni vi è proprio anche la densificazione della rete.

La rete è stata progettata in modo da abbracciare tutto il territorio dello Stato e ha la configurazione mostrata in Figura 2; sono presenti 20 vertici, 10 principali e 10 associati, oltre alla stazione permanente RSMC. I vertici sono materializzati da borchie in ottone (Figura 4) fissati a pilastri protetti da pozzetti (Figura 3), per garantire loro maggiore durata.

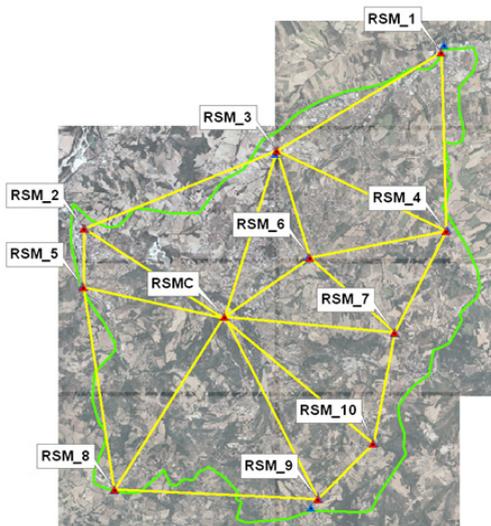


Figura 2 – La struttura della rete GNSS.

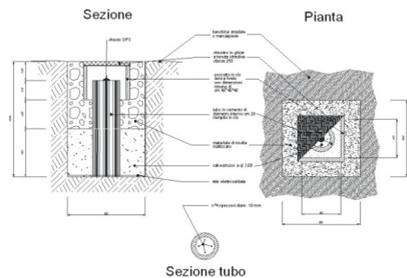


Figura 3 – Schema costruttivo del pozzetto.

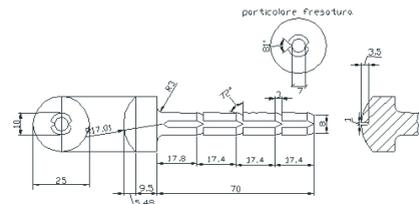


Figura 4 – Schema costruttivo della borchia metallica.

Le operazioni di rilievo della rete sono state condotte dal personale del Catasto e si sono concluse nel novembre 2009. L'elaborazione dei dati è stata svolta dal Laboratorio di Geomatica dell'Università di Pavia. La rete è stata inquadrata IGM95-ETRF89 e anche in ETRF2000.

5. Stima della trasformazione di datum: da WGS84 a RSM50

Le attività descritte fino a questo punto della nota consentiranno ai tecnici del Catasto di fare misure GNSS. Vi è naturalmente la necessità di stabilire un ponte fra il sistema di riferimento WGS84 e quello tuttora usato a San Marino, dunque bisogna stimare una trasformazione di datum. Essa potrà essere indifferentemente usata per inserire nelle mappe esistenti le misure GPS oppure per convertire la carta attuale a UTM-WGS84. Per portare a termine tale compito è stato necessario realizzare due fasi: la misura di un numero adeguato di punti doppi; la scelta della forma matematica con cui modellizzare la trasformazione di datum per la zona di San Marino e la stima dei corrispondenti parametri.

Per quanto riguarda i punti doppi, è stato individuato un insieme di 7 vertici appartenenti alla rete trigonometrica; è stato deciso di prendere in considerazione solo i vertici usati regolarmente dai tecnici del Catasto per le loro attività e ritenuti affidabili. Di questi punti si conoscono le coordinate Cassini-Soldner dalle monografie e sono state misurate le WGS84 con rilievi specifici, eseguiti da personale del Laboratorio di Geomatica dell'Università di Pavia.

Per la limitata estensione del territorio, circa 11x9 kmq, è stato scelto di effettuare la trasformazione di datum con una trasformazione affine particolare da eseguire sul piano cartografico. Tale funzione è una roto-traslazione con cambiamento di scala anisotropo la cui equazione è

$$\mathbf{x}_{\text{UTM-WGS84}} = \mathbf{T} + \begin{pmatrix} \lambda_x & 0 \\ 0 & \lambda_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \mathbf{u}_{\text{CS}}$$

È stata effettuata la stima ai MQ dei parametri, sulla base dei punti doppi, La σ_0 a-posteriori vale 6.6 cm e può essere interpretata come lo scarto medio fra le coordinate UTM-WGS84 ricavate per trasformazione dalle Cassini-Soldner (coordinate UTM calcolate) e quelle determinate con rilievo topografico (coordinate UTM misurate): si tratta di un valore davvero basso, persino sorprendente. La rete trigonometrica di San Marino è stata rilevata molto bene e non presenta distorsioni, dunque la trasformazione fra i due datum può essere effettuata con qualità elevata.

La Tabella 2 riporta gli scarti fra le UTM calcolate e quelle misurate e conferma l'ottimo accordo fra le coordinate UTM-WGS84 e Cassini-Soldner. Il punto di Torriana è stato escluso dal calcolo finale in quanto presentava scarti anomali rispetto a quelli pubblicati. Non è stato possibile validare i risultati su punti indipendenti, cioè punti doppi non inseriti nelle stima ai MQ, perché non sono disponibili abbastanza punti doppi: suddividere i 7 esistenti in due insiemi disgiunti avrebbe eccessivamente indebolito l'affidabilità dei risultati. Ci pare si possa dire, in conclusione, che le misure recentemente effettuate dal Laboratorio di Geomatica sono state eseguite bene e che i tecnici dell'EIRA, alla fine degli anni '40, hanno davvero fatto un ottimo lavoro.

Vertice	ΔE [m]	ΔN [m]
Acquaviva	0.063	-0.031
Domagnano	-0.077	0.049
Falciano	-0.012	0.032
Monte Giardino	-0.034	0.045
Monte Maggio	-0.021	-0.023
Montelupo	0.081	-0.072
Media	0.000	0.000
SQM	0.060	0.049

Tabella 2 – Scarti ottenuti sui punti doppi.



Figura 5 – Rappresentazione grafica dei residui.

6. La rete di livellazione RSM e il modello di ondulazione geoidica

È stato deciso di creare una rete di livellazione sull'intero territorio dello Stato per determinare in modo molto accurato le quote dei vertici delle rete GPS e per avere dati attendibili per elaborare un modello locale di ondulazione geoidica. La rete ha la struttura indicata in Figura 6 e comprende 83 capisaldi. Quattro capisaldi appartengono alla linea di livellazione italiana numero 14 (i capisaldi 122, 123, 128 e 129): è stato necessario legarsi alla rete italiana in quanto non vi erano, a San Marino, riferimenti altimetrici affidabili. Venti capisaldi sono costituiti dai vertici principali e associati della rete GNSS;

altri 59 punti nuovi sono stati creati lungo le linee, a distanza media di 1 km. In totale sono stati rilevati 166 tratti in andata e ritorno, per una lunghezza complessiva di 122 km.

Le misure sono state svolte dalla Ditta Durazzani di Firenze; il Laboratorio di Geomatica dell'Università di Pavia ha effettuato l'analisi sistematica della qualità dei dati, la ricerca di outliers e la compensazione ai MQ della rete: gli sqm delle quote dei punti sono mediamente attorno al mm.

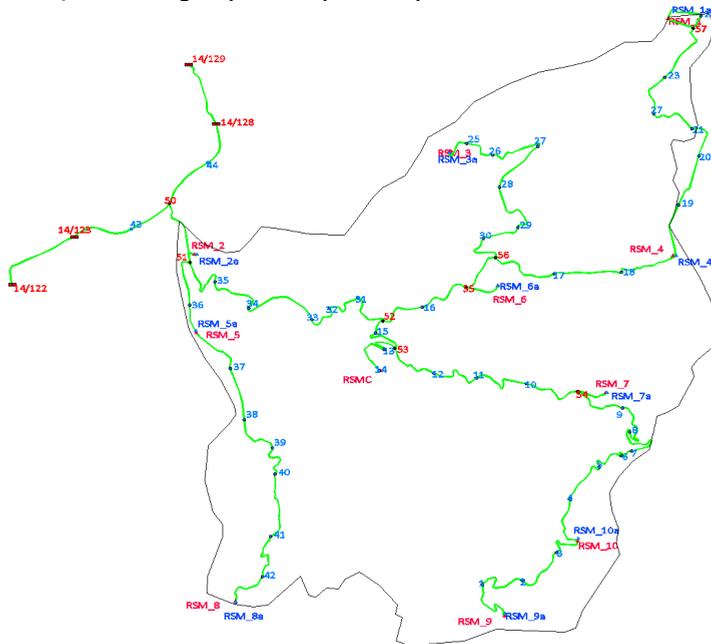


Figura 6 – La rete di livellazione di San Marino. La linea nera indica il confine di Stato.

Dopo il calcolo della rete, è stato stimato un modello locale di ondulazione geoidica. È stata scelta la forma funzionale del *geoide piano* e sono stati usati come punti doppi, di cui si conosce tanto la quota quanto l'altezza ellissoidica, i vertici della rete GNSS. La verifica della chiusura del modello (conversione da ellissoidiche e ortometriche e confronto con le ortometriche misurate) ha evidenziato un errore quadratico medio di 1.5 cm.

Si sottolinea infine che è già stato deciso che il personale del Catasto misurerà la posizione altimetrica dei 59 capisaldi nuovi con modalità RTK, usando il servizio erogato dalla stazione GNSS permanente. Essi costituiranno un primo esempio di densificazione della rete fondamentale.

7. Il programma TDSM

È stato creato presso il Laboratorio di Geomatica il programma TDSM, in ambiente Matlab, che esegue tutte le trasformazioni di datum planimetrico e altimetrico che riguardano San Marino. Il programma è stato compilato e consegnato al Catasto: è dotato di interfaccia a caratteri, per il momento, e converte da RSM50 a WGS84-IGM95 in andata e ritorno; da altezze ellissoidiche a quote e viceversa; da cartografiche e geografiche e viceversa nel datum WGS84. Calcola infine la differenza fra il contenuto di due file, a scopo di studio e verifica.

```

=====
= Programma TDSM - Trasformazione di Datum per San Marino =
=
= Sviluppato dal Laboratorio di Geomatica =
= dell'Università di Pavia =
=
= Il programma effettua la trasformazione di datum =
= planimetrico e altimetrico per la zona di San Marino =
=====

```

Ti ricordo che:

- i file di input devono essere in formato ASCII
- le colonne devono essere separate da spazi
- il separatore decimale deve essere il punto

Sono previsti i casi:

- 1 - E N h (UTM-WGS84) -> E N h Q N (UTM-WGS84)
- 2 - E N h (UTM-WGS84) -> E N Q (RSM50)
- 3 - E N X (UTM-WGS84) -> E N X (RSM50)
- 4 - E N X (RSM50) -> E N X (UTM-WGS84)
- 5 - FI LA X (WGS84) -> E N X (UTM-WGS84)
- 6 - E N X (UTM-WGS84) -> FI LA X (WGS84)
- 10 - DELTA

Scegli:

8. Conclusioni

La nota presenta alcuni risultati della collaborazione tra l'Ufficio Tecnico del Catasto della Repubblica di San Marino e il Laboratorio di Geomatica dell'Università di Pavia: la stazione GNSS permanente RSMC; la rete GNSS; la trasformazione di datum fra il vecchio sistema RSM50 e WGS84; la rete di livellazione e la stima di un modello di ondulazioni geoidiche. Restano alcuni problemi aperti, che saranno argomento di ulteriore ricerca e collaborazione, come la verifica dell'esistenza di deformazioni locali della carta catastale; la definizione di una metodologia per l'inserimento in mappa di punti rilevati con tecniche integrate GNSS e topografiche; la predisposizione di linee guida per la regolamentazione dell'uso della strumentazione GNSS nelle attività catastali sammarinesi.

9. Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare i Tecnici del Catasto di San Marino che hanno eseguito le misure GPS descritte nelle Sezioni 3 e 4 della nota con grande attenzione: si trattava delle loro prime misure GPS e il risultato è stato ottimo.

Il contributo dato dagli autori alla redazione della nota è stato paritetico.

10. Bibliografia

- Casella V., Franzini M., Padova B. (2009) - Il sistema GPS per il rilievo topografico. Arc.SM - Periodico di Architettura a cura dell'Ordine degli Ingegneri e Architetti della Repubblica di San Marino, n. 4, 2009, pp.34-35.
- Crespi M., Reina T. (2004). Applicazioni non catastali dei punti fiduciali: proposta di una metodologia per l'inquadramento della maglia dei punti fiduciali nel sistema cartografico UTM-WGS84-ETRF89. Bollettino SIFET, n. 3, 2004, pp. 13-22.
- Cina A. (2008). La carta catastale in un sistema globale. Rivista dell'agenzia del Territorio, n. 1, 2008, pp. 3-16.
- Di Filippo S. (2003). Sul passaggio delle coordinate plano-cartografiche catastali al sistema WGS84 e viceversa. Rivista dell'Agenzia del Territorio, n. 1, 2003, pp.59-89.
- Galli G. (1953). Le operazioni geometriche - Il Nuovo Catasto della Repubblica di San Marino. Rivista del Catasto e dei Servizi Tecnici Erariali - Nuova serie. Anno VIII, n. 5-6, 1953.