

# L'utilizzo del GPS per lo studio di dettaglio della morfologia

## Introduzione

L'ambiente costiero rappresenta un sistema naturale complesso, dipendente essenzialmente dall'apporto solido dei corsi d'acqua che alimentano le spiagge e dall'azione distruttrice delle mareggiate.

Tuttavia, un'incalzante antropizzazione, un eccessivo utilizzo economico della fascia costiera ed un intenso sfruttamento delle risorse di tale ambiente provocano esempi di destabilizzazione sempre più frequenti. Inoltre, la riduzione del trasporto solido dei corsi d'acqua e la costruzione sui litorali di opere varie (moli, scogliere artificiali, installazioni turistiche) ha sensibilmente modificato l'equilibrio naturale dell'ambiente costiero.

Attualmente circa il 45% delle coste italiane risulta minacciato da un progressivo degrado che si manifesta per lo più con l'arretramento della linea di riva ed un'evidente erosione degli arenili, mostrando sempre più la necessità e l'improrogabilità di provvedimenti a salvaguardia di questo delicato settore.

Spesso, però, gli interventi realizzati per la costruzione di opere di difesa sono dettati dall'urgenza di frenare fenomeni già in atto e, pertanto, si tratta generalmente di opere realizzate in aree limitate, in tempi diversi, prive di una progettazione attenta e di una visione completa del problema.

Periodicamente, eventi meteorologici caratterizzati da piogge intense, piene dei corsi d'acqua e forti mareggiate accrescono tali condizioni di precarietà, sottolineando la necessità, per una migliore comprensione delle dinamiche della fascia costiera, di valutare le interazioni dell'intera unità fisiografica di appartenenza con variazioni delle condizioni meteorologiche ed una sempre più massiccia antropizzazione dell'ambiente naturale.

Il GPS rappresenta oggi uno strumento indi-

spensabile per numerose applicazioni di rilievo e monitoraggio del territorio. In questo studio è stato utilizzato allo scopo di evidenziare le caratteristiche morfologiche di un tratto di costa del levante ligure sottoposto, negli ultimi 50 anni, ad intensi fenomeni erosivi e, recentemente, a considerevoli interventi di ristabilizzazione.

## Area di studio

L'area oggetto di studio si estende lungo la fascia costiera della riviera ligure di Levante, all'interno del Golfo del Tigullio ed è costituita dalla parte di litorale a ponente della penisola di Sestri Levante, denominata Baia delle Favole.

Il litorale della Baia delle Favole, delimitata a Nord dalle Rocche di S. Anna e a Sud dal promontorio, ha un'estensione complessiva di circa 1300 m ed è suddiviso dalla foce del torrente Gromolo in un settore settentrionale di circa 800 m ed in uno meridionale di circa 500 m.

La spiaggia del settore centromeridionale è caratterizzata da un progressivo allargamento procedendo verso la penisola dove presenta estensioni in larghezza superiori ai 100 m.

Il settore settentrionale è interessato da alcuni decenni da un'intensa azione erosiva

cui recentemente si è tentato di porre rimedio attraverso il versamento di materiale granulometricamente idoneo e la costruzione di un numero di pennelli accuratamente dimensionati, finalizzati ad impedire la deriva verso Est ed un ulteriore avanzamento della spiaggia a ridosso del porto.

Attualmente, questa zona è caratterizzata da una spiaggia artificiale con un'ampiezza di circa 40-50 m, divisa in quattro compartimenti suddivisi da cinque pennelli.

## Metodologia utilizzata

Il rilievo morfologico della spiaggia emersa è stato eseguito attraverso l'uso di un ricevitore GPS sia per definire, in breve tempo, una superficie quotata rappresentativa delle condizioni di energia della spiaggia stessa sia per monitorare l'evoluzione del litorale con estrema precisione ed acquisire, nel tempo, dati caratterizzati da una stessa accuratezza. È stato utilizzato un GPS Leica 500 in modalità cinematica "Stop and Go" ed in modalità "fast-statica". La zona oggetto di studio è stata percorsa seguendo un tragitto "serpentiniforme" allo scopo di definire profili che evidenzino i principali caratteri morfologici presenti (berme, variazioni di pendenze). Per un maggior controllo dei dati acquisiti, alcuni dei punti rilevati in modalità "Stop and Go",



Fig.1 - Area di studio

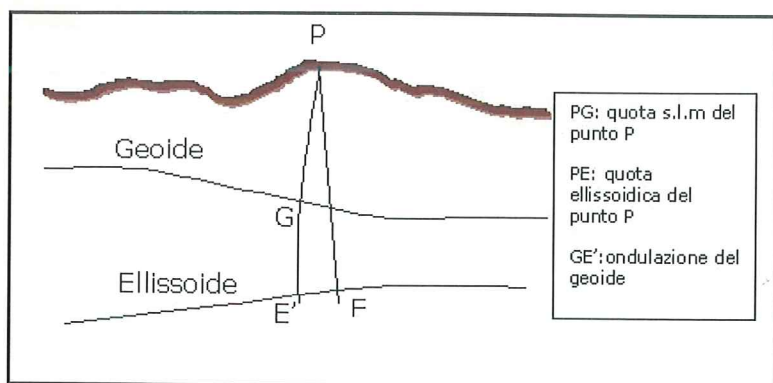


Fig.2 - Ondulazione geoidica



Fig.3 - Ubicazione stazioni fisse TIM

stazionando su ciascuno 1 minuto, sono stati segnalizzati e successivamente acquisiti anche in modalità fast-statica registrandone la posizione per un intervallo di tempo pari a 15 minuti.

In modalità fast-statica è stato utilizzato un recording rate pari a 15 sec mentre in modalità cinematica il recording rate è stato programmato ad 1 sec.

Inoltre, per risalire dalle altezze ellissoidiche, misurate tramite il GPS e riferite al centro di fase dell'antenna, alle quote sul livello medio mare è stato necessario definire il valore dell'ondulazione geoidica locale ricavato da misure eseguite in corrispondenza di punti a quota ortometrica nota: un caposaldo della livellazione di alta precisione IGM ed un punto della rete IGM95.

Al fine di ricavare la posizione del ricevitore GPS mobile con adeguata precisione è necessario applicare la tecnica delle correzioni differenziali basata sul funzionamento contemporaneo di due ricevitori, uno dei quali posto su un punto di coordinate note. Questo consente di valutare l'influenza delle variazioni della configurazione satellitare ed i corrispondenti effetti dell'atmosfera relativi

al periodo di acquisizione e, di conseguenza, correggere i valori registrati dagli errori sistematici. Per evitare di utilizzare due ricevitori, che eseguano la registrazione dei dati in contemporanea sui due estremi, si è ritenuto opportuno utilizzare in post-processing la stazione TIM di Genova, facente parte di una maglia di 23 stazioni GPS fisse di riferimento distribuite uniformemente su tutto il territorio nazionale ed inquadrata nella rete IGM95. Per tali stazioni, la frequenza di memorizzazione dei dati è impostata ad 1 secondo.

Successivamente si è ritenuto opportuno determinare l'influenza della lunghezza della baseline sull'accuratezza dei risultati, e a tale scopo sono stati acquisiti i dati della stazione GPS permanente dell'Istituto Tecnico Statale Commerciale e per Geometri di Chiavari, caratterizzata da un ricevitore doppia frequenza Trimble Geodetic Surveyor 4000 SSI munito di antenna geodetica Choke Ring. La minor distanza della suddetta stazione dalla zona oggetto del rilievo dovrebbe garantire una maggior correlazione spaziale tra i due ricevitori e, di conseguenza, l'eliminazione della maggior parte degli effetti

dovuti all'influenza atmosferica. La frequenza di campionamento di tale stazione era stata precedentemente fissata a 5 secondi. In fase di acquisizione dati, un primo controllo è stato eseguito attraverso il software Ski-Pro mentre il post processing è stato realizzato utilizzando il software Trimble Geomatics Office all'interno del quale sono stati importati i file relativi al ricevitore mobile e quelli della stazione fissa in formato RINEX.

### Elaborazione dei dati

L'elaborazione dei dati ha portato alla risoluzione delle ambiguità di fase, alla definizione delle singole baseline e quindi alla determinazione della posizione planoaltimetrica di ciascun punto.

Il software utilizzato raccoglie inoltre in un file di report (Tab.1) ulteriori informazioni relative al tipo di soluzione adottato, alla stima della lunghezza della baseline, al valore del *ratio*, della *reference variance* e del *root mean square*.

Dall'analisi del rapporto riepilogativo risulta che la maggior parte delle baseline sono state risolte con la soluzione ad ambiguità

Da	A	Lunghezza linea di base	Tipo di soluzione	Ratio	Reference variance	RMS
TGE0	1	40890,429m	lono free fixed	6,4	0,963	0,012m
TGE0	2	40897,048m	lono free fixed	6,4	1,476	0,014m
TGE0	3	40891,278m	lono free fixed	6,4	0,955	0,010m
TGE0	4	40880,156m	lono free fixed	13,7	1,828	0,015m
TGE0	5	40889,455m	lono free fixed	13,7	2,083	0,013m
TGE0	6	40898,454m	lono free fixed	13,7	1,056	0,011m
TGE0	7	40906,721m	lono free fixed	13,7	1,236	0,013m
TGE0	8	40913,349m	lono free fixed	8,8	1,136	0,012m
TGE0	9	40919,190m	lono free fixed	9,5	1,812	0,014m
TGE0	10	40927,098m	lono free fixed	9,5	2,848	0,019m

Tab. 1 - Stralcio rapporto elaborazione baseline

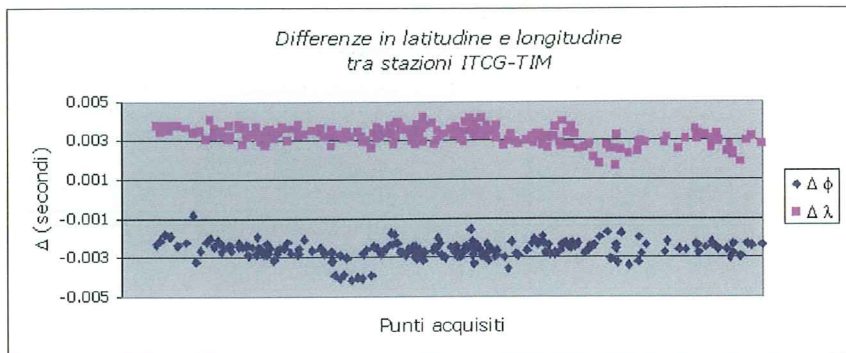


Fig.4

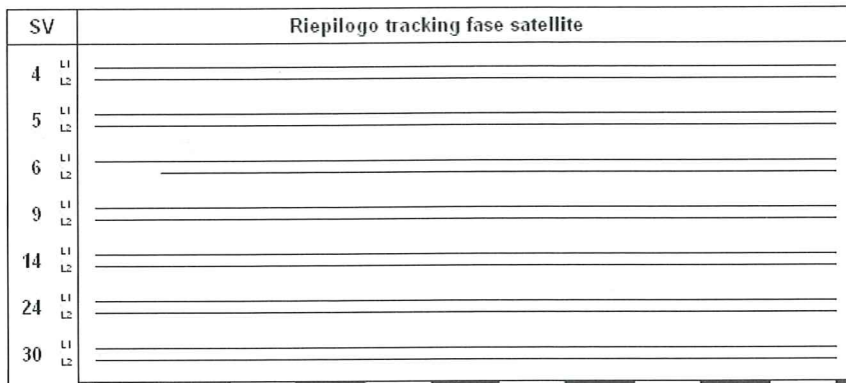


Fig.5 - Stazione ITCG

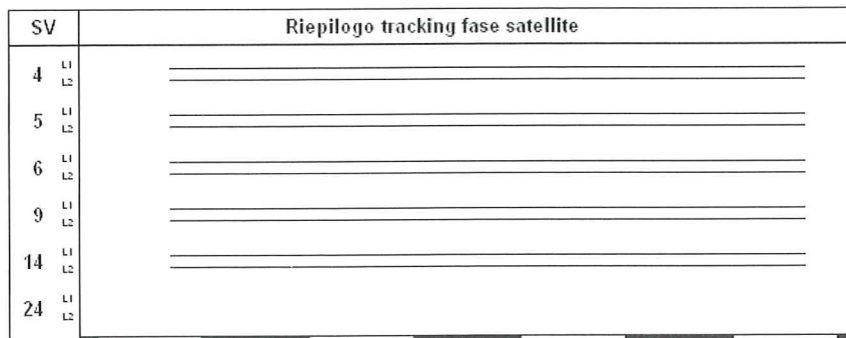


Fig.6 - Stazione TIM

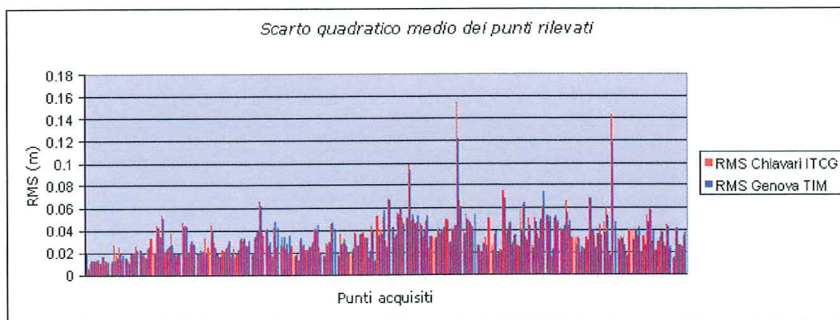


Fig.7

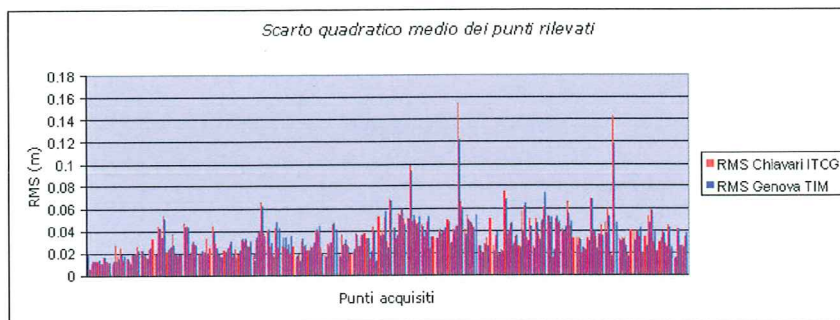


Fig.8

fissata ad intero, nella combinazione libera dall'effetto ionosferico (*iono free fixed*). Il fissaggio dell'ambiguità di fase è avvenuto con successo poiché il *ratio*, il rapporto tra i due valori di varianza più piccoli calcolati a partire da insiemi diversi di interi fissati, mostra valori elevati.

La compresenza di due stazioni da poter utilizzare come master, poste a distanze notevolmente diverse (circa 40 km Stazione TIM e 7 km Stazione ITCG), impone alcune considerazioni circa la valutazione dei risultati ottenuti e successive scelte.

In Fig. 4, sono riportate le differenze in latitudine e longitudine, espresse in secondi, tra le coordinate di ciascun punto acquisito, calcolate rispettivamente dalle stazioni master di cui sopra. Dal grafico si evince chiaramente che l'utilizzo della stazione permanente più vicina all'area di studio determina valori di latitudine inferiori e valori di longitudine superiori rispetto a quelli calcolati dalla stazione TIM.

Tali differenze risultano tuttavia comprese tra  $\pm 0,001$  e  $\pm 0,005$  secondi, corrispondenti a spostamenti planimetrici variabili circa tra 3 cm e 15 cm in latitudine e 3 cm e 11 cm in longitudine. Per quanto riguarda l'altezza ellissoidica, i punti acquisiti differiscono mediamente di 3,8 cm.

La diversa copertura satellitare ed una differente ricezione delle onde portanti in corrispondenza delle stazioni master considerate potrebbero in molti casi giustificare le suddette variazioni. Le Fig. 5 e 6 testimoniano appunto la ricezione di un satellite in più, per la stazione ITCG rispetto alla stazione TIM per la quale, inoltre, non si hanno informazioni circa le portanti del satellite 24.

Successivamente sono stati presi in considerazione gli scarti quadratici medi di ciascun punto ottenuti in fase di elaborazione. Il grafico di Fig.7 mette in evidenza che il valore di RMS di ciascun punto non mostra differenze peculiari in relazione alla stazione master da cui è stato calcolato. In particolare, su 210 punti acquisiti in modalità Stop and Go, 109 hanno un RMS più basso se si utilizza come master la stazione ITCG.

Poiché i valori del *ratio* sono sempre piuttosto elevati, si è ritenuto opportuno valutare se la frequenza di memorizzazione dei dati della stazione master, non coincidente con quella del rover, potesse avere influenza nella stima del punto e del suo RMS. L'esecuzione di un secondo rilievo realizzato stazionando su ciascun punto 15 secondi con recording rate di 1 secondo sia per la

stazione master che per il rover, sembra confermare quanto sopra. Nel grafico di Fig.8 il valore RMS in funzione della distanza assume valori più bassi passando da un valore medio di 0,033 m per il primo rilievo a 0,019 m per il secondo.

L'altezza ellissoidica di due punti di quota nota s.l.m., presenti nell'area del rilievo, ha permesso di definire un'ondulazione geoidica media pari a 44.988 m tramite la quale sono state ricavate le quote sul l.m.m. di tutti i punti acquisiti. Utilizzando tecniche GIS è stato possibile ricostruire una maglia irregolare di triangoli (TIN) che riproduce l'andamento morfologico dell'area oggetto di studio e gli aspetti caratteristici della spiaggia emersa.

## Conclusioni

Il GPS presenta numerosi aspetti che lo rendono particolarmente "allettante" agli occhi di tecnici di settori diversi: la semplicità d'uso, l'indipendenza dalle condizioni atmosferiche, il tempo necessario per l'effettuazione di un rilievo.

La necessità di disporre contemporaneamente di due ricevitori, per misure di precisione, può rappresentare in alcuni casi una limitazione all'applicazione del metodo.

Attualmente, la presenza sul territorio di reti di stazioni permanenti garantisce attraverso il post processing dei dati un più versatile impiego del sistema.

Nello studio proposto, l'utilizzo delle tecniche GPS in modalità cinematica e fast-statica ha permesso un rapido rilevamento topografico del tratto costiero in esame, cui ha fatto seguito una dettagliata rappresentazione cartografica delle principali caratteristiche morfometriche della spiaggia emersa.

Tale metodologia può consentire di monitorare l'evoluzione del litorale con estrema precisione ed acquisire, nel tempo, dati caratterizzati da una stessa accuratezza, che, per i fini applicativi prefissati, è risultata soddisfacente, sia utilizzando stazioni permanenti prossime all'area di studio sia utilizzando stazioni permanenti da essa più distanti. Il metodo potrebbe rappresentare pertanto una procedura per ricavare dati omogenei

da utilizzare nella realizzazione di modelli matematici necessari a definire l'efficacia degli interventi di difesa messi in atto.

*Si ringraziano il Prof. Luciano Surace per i numerosi consigli, gli utili suggerimenti e l'attenta revisione del testo ed il Prof. Salvatore Piscera, dell'Istituto Tecnico per Geometri di Chiavari, per aver fornito i dati relativi alla stazione permanente.*

## Bibliografia

Berriolo G., Siritto G., 1972 - Spiagge e porti turistici. Hoepli, Milano. 67-172.

Brandolini P., 1995 - Modificazioni della fascia costiera tra Portofino e Zoagli (Liguria Orientale) a seguito dello sviluppo turistico. *Mem.Geogr.* 1. 243-252.

Cina A., 2003 - GPS: Principi, modalità e tecniche di posizionamento (Celid Editore)

Cortemiglia G.C. & Terranova R., 1978 - Realizzazione di una spiaggia artificiale a Lavagna (Liguria Orientale). *Mem. Soc. Geol. It.*, 19, 381-387.

Cortemiglia G.C., Terranova R., 1979 - Rappresentazione cartografica delle caratteristiche geomorfologiche della fascia costiera compresa tra Portofino e Sestri Levante (Liguria Orientale). *Atti Conv. Naz. per la difesa del litorale di Chiavari, Lavagna e Sestri Levante dall'erosione marina.* 169-180.

Terranova R., 1993 - I litorali di Lavagna-Chiavari: un esempio di intensa occupazione degli spazi costieri con gravi condizioni di squilibri ambientali. *Atti Conv. "Lo spazio costiero italiano. Problemi di crescita, sensibilità ambientale".* Firenze, 73-90.

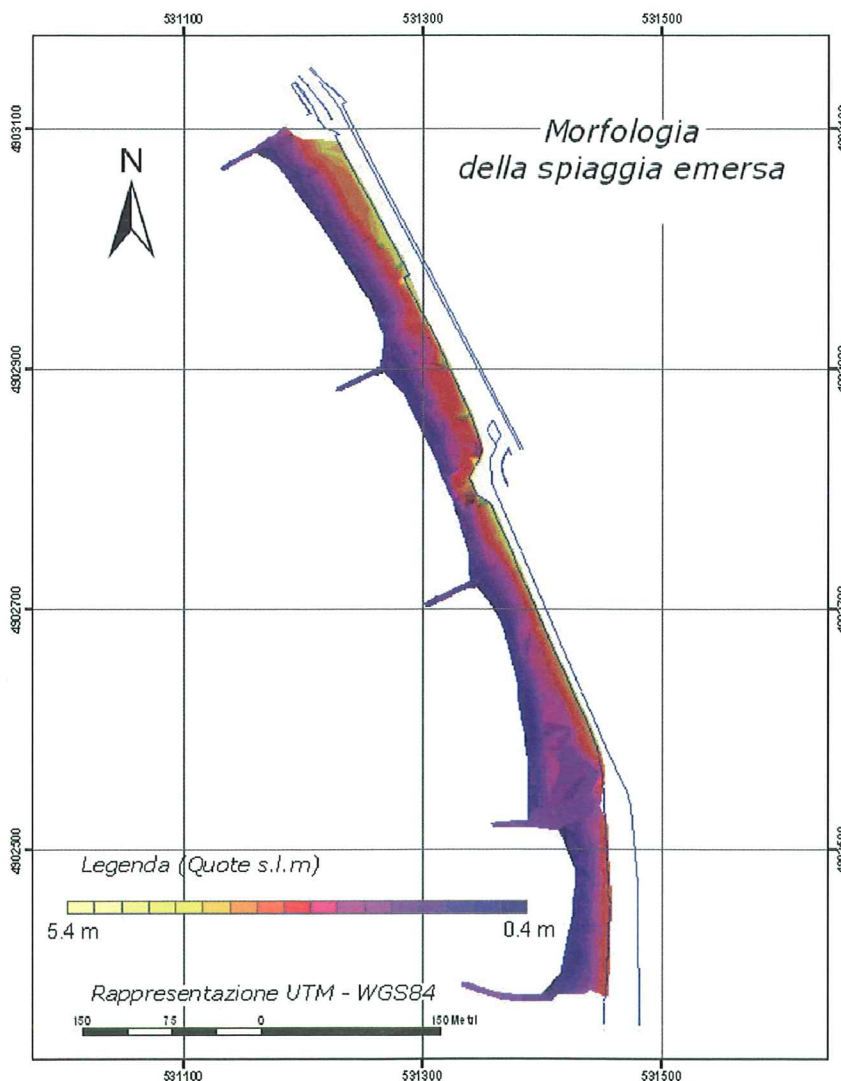


Fig. 9 - Morfologia della spiaggia emersa

## Autori

**MANUELA MILLI** - Geologo  
Via Rimembranze, 10 - 61045 Pergola (PU)  
manuelamilli@libero.it

**ANGELO DI MATTEO** - Geologo  
Viale Gramsci, 76 - 66020 Paglieta (CH)  
geodma@tin.it