

Rete Geodetica Costiera e Mareografica Arpae Emilia-Romagna

Nunzio De Nigris¹, Alberto Pellegrinelli², Laura Monti² e Flavia Sistilli¹

¹ Arpae Emilia-Romagna, ndenigris@arpae.it

² Dipartimento di Ingegneria – Università di Ferrara - DE, plllrt@unife.it

Nel periodo 2016-2018, l'attuale Unità Monitoraggio e Supporto alla Gestione della Costa, di Arpae Emilia-Romagna, ha realizzato la Rete Geodetica Costiera (RGC) per l'inquadramento geodetico dei rilievi topografici e batimetrici della spiaggia attiva del litorale regionale. La finalità principale di questi rilievi è il monitoraggio dell'evoluzione morfologica della spiaggia per la valutazione dei processi erosivi, dell'impatto determinato dagli eventi di mareggiata, dell'efficacia degli interventi di ripascimento e dell'interazione con la spiaggia delle nuove opere di difesa dall'ingressione e erosione costiera.

La RGC è stata realizzata, ed è mantenuta aggiornata, in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna e il Dipartimento di Ingegneria (DE) dell'Università di Ferrara.

La [Rete Geodetica Costiera](#) è costituita, all'ottobre 2023, da 50 vertici GNSS distribuiti lungo la costa della Regione Emilia-Romagna, distanti mediamente 3-4 km l'uno dall'altro (Fig. 1). Nel periodo maggio-giugno 2024, in collaborazione con il DICAM, si è proceduto alla materializzazione di 10 nuovi vertici, al rilievo GNSS in modalità statica e al collegamento altimetrico al caposaldo più vicino. La pubblicazione delle monografie, di questi ultimi, è prevista prima della fine dell'anno. Nei prossimi anni, è prevista la materializzazione di ulteriori 10 vertici. Grazie a questi ulteriori 20 vertici, la RGC risulterà ben distribuita lungo il litorale regionale e i vertici risulteranno tutti facilmente stazionabili con strumentazione GNSS. Inoltre, questo rafforzamento, nel caso di perdita di alcuni vertici, circostanza che si verifica di frequente in un litorale come quello emiliano-romagnolo in continua trasformazione urbanistica, permette alla rete di mantenere la sua funzionalità nel tempo necessario per il ripristino del vertice. Le monografie dei vertici sono disponibili sul [portale cartografico](#) di Arpae.

I vertici di questa infrastruttura geodetica (Fig. 2) sono inquadrati nel sistema di riferimento nazionale ETRS89 – ETRF2000 (epoca 2008.0), così come prescritto dal D.M. del 10 novembre 2011, stazionabili con strumentazione GNSS e omogeneamente distribuiti lungo il litorale, il più possibile a ridosso della spiaggia.

Le coordinate tridimensionali hanno precisione di ordine centimetrico ($\text{sqm} \leq 2 \text{ cm}$) sia in termini planimetrici che per la quota ellissoidica, e la quota ortometrica è aggiornata periodicamente, aspetto, quest'ultimo molto importante in un territorio subsidente come quello del litorale emiliano-romagnolo.

Nella prima realizzazione, per ogni vertice, oltre alla misura della quota ellissoidica con rilievi GNSS in modalità statica, è stata stimata la quota ortometrica tramite

collegamento per livellazione geometrica al più vicino caposaldo della “Rete regionale di controllo della subsidenza”, misurata l’ultima volta con il metodo della livellazione nel 2005. La quota è stata, in seguito, aggiornata al 2018 tramite modelli di [subsidenza](#) calcolati con misure interferometriche.

Successivamente, nel 2023, è stata realizzata una livellazione geometrica di alta precisione al fine di aggiornare i dislivelli ortometrici-geoidici dei vertici della RGC (linea costiera). Inoltre, questi sono stati collegati con i caposaldi di riferimento delle 4 stazioni della [rete mareografica regionale](#), gestite da Arpae, e della [stazione mareografica nazionale](#) di Marina di Ravenna, gestita dall’ISPRA.

La stazione mareografica regionale di Porto Garibaldi (Comacchio) è operativa dal 2009 (Fig. 3), quelle di Cervia e Cattolica, finanziate nell’ambito del progetto europeo [AdriaClim](#), sono operative dal luglio 2023, infine quella di Faro di Goro posizionata nella Sacca di Goro è stata installata nel 2009 (Fig. 1).

Le stazioni mareografiche di Porto Garibaldi, Cervia e Cattolica sono integrate con una stazione permanente GNSS. Il sistema integrato, mareografo e stazione permanente GNSS, permette di isolare la variazione del livello del mare da quella di abbassamento del terreno

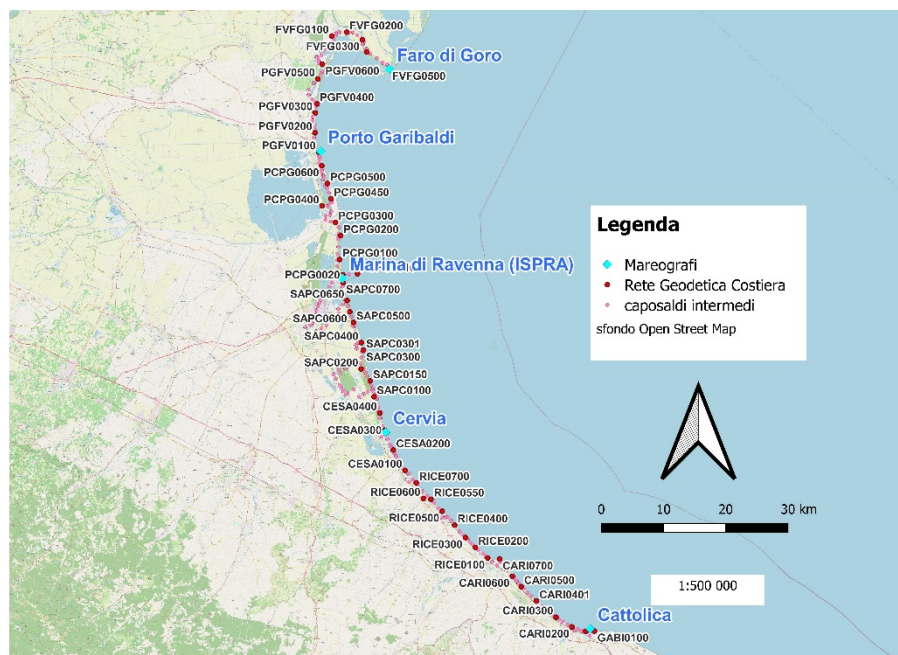


Fig. 1. Rete Geodetica Costiera (pallini rossi) e Mareografica (pallini azzurri).

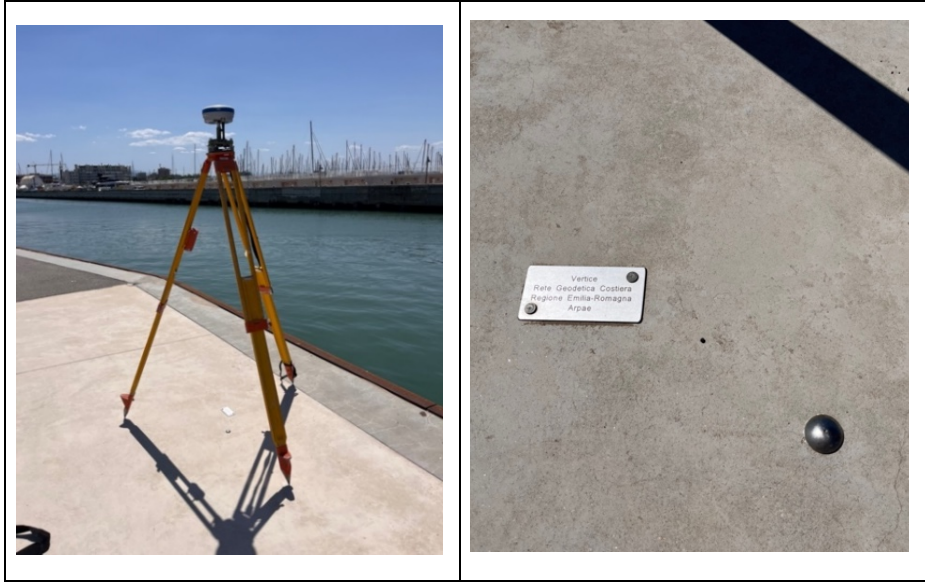


Fig.2. Vertice RGC CARI0710 Molo di Rimini: stazionamento GNSS (a sinistra), borchia e targhetta identificativa (a destra).



Fig.3. Porto Garibaldi (Comacchio): stazione mareografica integrata con GNSS permanente

Come riferimento altimetrico della linea costiera RGC è stato scelto il vertice PGFV0100 posizionato all'inizio del molo di Porto Garibaldi. Questo vertice/caposaldo fa parte anche della "Rete Regionale di controllo della subsidenza - Archivio Capisaldi di Livellazione" (CS000650) e della "Rete Altimetrica di Alta Precisione dell'IGM (0169#_###_038#).

La scelta di utilizzare questo vertice come riferimento della quota si è basata proprio sulla presenza della summenzionata stazione permanente GNSS (integrata come detto con la stazione mareografica) sul molo sinistro di Porto Garibaldi, a circa 350 m di distanza dal vertice.

La stazione GNSS, è operativa dal 2009, con serie temporale completa, e fa parte della rete di stazioni EPN dell'EUREF, con sitename GARI00ITA. Questa è una delle stazioni che materializzano sul territorio nazionale il sistema di riferimento europeo ETRS89 nel frame ETRF2000. Le coordinate X,Y,Z dell'antenna GNSS e i relativi parametri di velocità V_x , V_y , V_z , sono elaborati e monitorati senza soluzione di continuità da diversi centri di calcolo nazionali ed internazionali e sono pubblicati in modo ufficiale nel sito [EUREF Permanent GNSS Network](#).

Le coordinate e i parametri di velocità ufficiali di GARI00ITA, in ETRF2000, sono espresse all'epoca 2010.0. Le coordinate X, Y, Z sono state aggiornate al 2023 applicando i parametri di velocità, sono state poi trasformate in coordinate geografiche ottenendo per l'ARP dell'antenna GNSS una quota ellissoidica di 47.690 m in ETRF2000 (2023.0). L'aggiornamento delle coordinate al 2023 permette di eliminare l'effetto della subsidenza dal 2010 al 2023.

La quota ellissoidica è stata trasformata in geoidica (datum altimetrico nazionale Genova 1942) tramite il modello di ondulazione ITALGEO2005, calcolato con il software Verto3K e il grigliato 205.gk2 dell'IGM; la quota geoidica dell'ARP dell'antenna GNSS è risultata pari a $H_{ARP} = +7.496$ m.

Tramite livellazione geometrica di alta precisione è stato misurato il dislivello geoidico tra ARP dell'antenna GNSS e caposaldo/vertice RGC PGFV0100 (-5.631 m).

Applicando questo dislivello alla quota geoidica dell'ARP dell'antenna GNSS si è calcolata la quota del caposaldo/vertice PGFV0100 $H_{PGFV0100} = +1.8650$ m.

L'inquadramento sopra descritto è stato denominato: riferimento altimetrico RGC 2023 con caposaldo fondamentale il PGFV0100 e quota +1.8650 m determinata nel 2023; le quote sono coerenti con il datum altimetrico nazionale: livello medio mare Genova 1942.

Tramite la livellazione geometrica di alta precisione, sono state inquadrate nel sistema di riferimento altimetrico RGC2023, anche e 4 stazioni mareografiche regionali e la stazione nazionale di Marina di Ravenna dell'ISPRA

Questo consente, sia in tempo reale sia in analisi di medio/lungo periodo, di confrontare in modo veloce e accurato i dati di livello delle 5 stazioni mareografiche presenti lungo il litorale dell'Emilia-Romagna.

Questo risultato è stato ottenuto inserendo i caposaldi di riferimento delle stazioni mareografiche direttamente nella linea di livellazione principale (Porto Garibaldi, Faro di Goro e Marina di Ravenna), o realizzando degli "sbracci" di livellazione geometrica tra la linea di livellazione principale e i caposaldi di riferimento delle stazioni (Cervia e Cattolica) materializzati nelle immediate vicinanze del sensore mareografico.

È importante osservare che per le nuove stazioni mareografiche di Cervia a Cattolica si è trattato di inquadrare per la prima volta il sensore di livello, per le stazioni di Porto Garibaldi, Faro di Goro e Marina di Ravenna (ISPRA), operative da diversi anni, il nuovo rilievo ha permesso di calcolare e applicare un off-set tra il riferimento RGC2023 e il precedente riferimento (per la stazione di Marina di Ravenna l'offset è applicato a posteriore sui dati). Inoltre, al fine di determinare la quota geoidica delle antenne GNSS, sono stati realizzati i collegamenti altimetrici tra i caposaldi di riferimento dei mareografi e l'ARP delle antenne GNSS co-locate.

La disponibilità del sistema integrato mareografo e stazione permanente GNSS di Porto Garibaldi, con una serie storica a partire dal luglio 2009 (Fig. 4 e Fig.5), ha permesso di calcolare il livello medio mare locale (l.m.m.l.) di Porto Garibaldi, e allo stesso tempo di eliminare l'effetto della subsidenza.

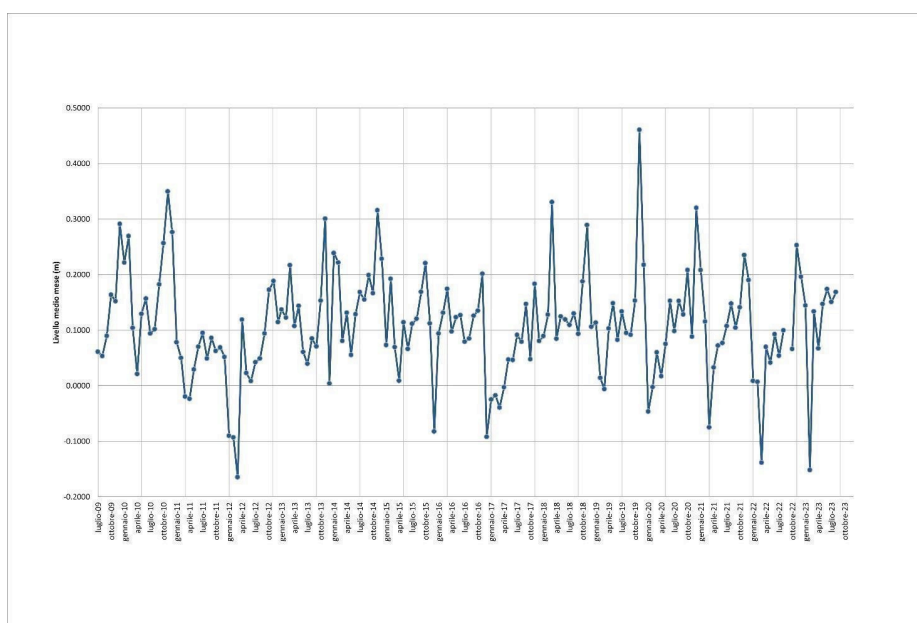


Fig.4. Porto Garibaldi (Comacchio): livelli medio mare mensili della stazione mareografica (luglio 2009 - dicembre 2023).

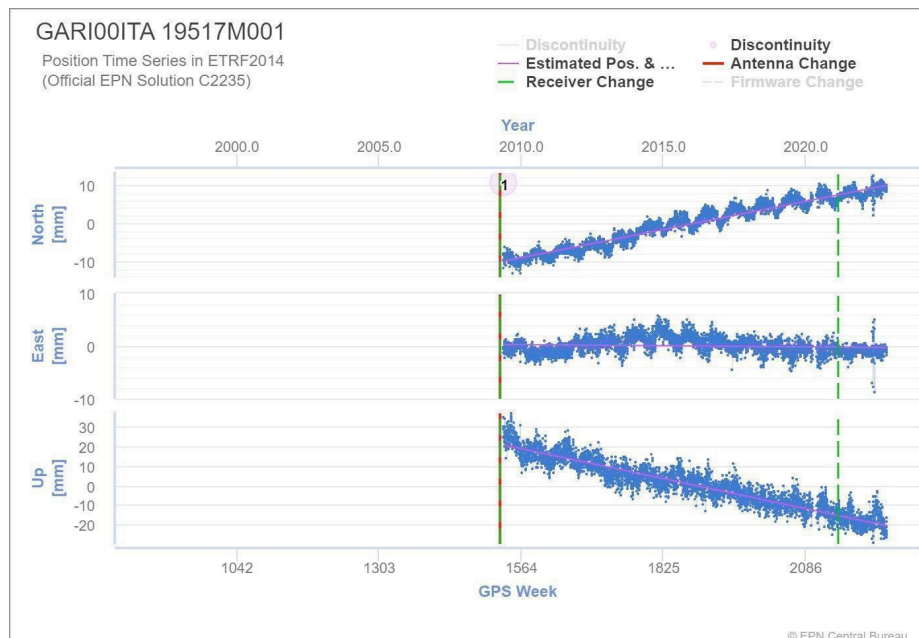


Fig.5. Porto Garibaldi (Comacchio): Stazione permanente GARI00ITA di Porto Garibaldi: serie temporali GNSS della stazione permanente GARI00ITA (estratti dal sito dell'EUREF <https://www.epncb.oma.be/>).

Mediando i livelli medi mare mensili della serie temporale luglio 2009-dicembre 2023, si è ottenuto un valor medio complessivo di +10.8 cm, che rappresenta un primo valore di livello medio mare locale rilevato a Porto Garibaldi, riferito all'anno 2017, anno centrale del periodo considerato, di seguito denominato PG2017. Questo dato indicherebbe quindi un innalzamento di 10.8 cm rispetto al livello medio mare nazionale Genova 1942.

Questo valore rappresenta, però, la somma dell'innalzamento del livello del mare e il contemporaneo abbassamento (subsidenza) della stazione mareografica.

Dall'analisi, dello stesso intervallo temporale, della componente verticale (Up) della stazione GNSS GARI00ITA si è calcolato un movimento della stazione sostanzialmente lineare di -3 mm/anno ± 0.1 mm/anno, tale valore evidenzia la subsidenza della stazione, e il suo effetto deve essere considerato nel calcolo del livello medio mare mensile rilevato dal sensore mareografico. L'abbassamento della stazione a causa della subsidenza comporta un'apparente innalzamento del livello del mare registrato dai sensori mareografici. Tenendo conto di questo dato, il livello medio mare locale di Porto Garibaldi PG2017 risulta più alto di 6,8 cm rispetto a Genova 42.

In conclusione, il sistema integrato Rete Geodetica Costiera e Rete Mareografica dell'Emilia-Romagna permettono un monitoraggio in tempo reale del livello del mare

nelle varie località sulla costa con un unico riferimento altimetrico aggiornato, coerente con le quote e i rilievi topografici della fascia costiera, aspetto fondamentale ai fini della gestione e della protezione idraulica del territorio costiero e non solo. Inoltre, tramite queste infrastrutture geodetiche, sarà possibile monitorare nel tempo il livello del mare locale rispetto alla quota della spiaggia, valutare i rischi di ingressione marina, nonché gli impatti di un eventuale innalzamento del mare sul territorio costiero

Riferimenti bibliografici

1. De Nigris, N., Pellegrinelli A., Sistilli, F.: Rete Geodetica Costiera e Mareografica. Livellazione di alta precisione e inquadramento geodetico. [Relazione Finale](#), (2024).
2. Arpaè Homepage, <https://www.arpaè.it/it>, ultimo accesso 2024/10/14.
3. EUREF Permanent GNSS Network, <https://www.epncb.oma.be/index.php>, ultimo accesso 17/10/2024.

