Progetto GIN: una Rete Geodetica Integrata per il monitoraggio e il rilievo topografico in Emilia Romagna

Nunzio De Nigris[1], Michele Di Lorenzo[1], Stefano Gandolfi[2] [0000-0003-2096-5670], Marco Marcaccio[1], Marianna Mazzei[1], Stefano Olivucci[3], Alberto Pellegrinelli[4] [0000-0002-8977-3864], Andrea Valentini[1] [0000-0001-7827-6267], Enrica Vecchi[5] [0000-0002-6524-9216]

[1] Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna (Arpae), Bologna
[2] Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM), Università di Bologna
[3] Sistema Informativo Geo-Topografico e Archivio Cartografico Regionale, Area Statistica, Dati e Sistemi Informativi Geografici, Direzione Risorse, Europa, Innovazione e Istituzioni, Regione Emilia-Romagna
[4] Dipartimento di Ingegneria, Università di Ferrara
[5] Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR), Università di Cagliari

Abstract. Il seguente lavoro costituisce una sintesi in italiano di un articolo già pubblicato in occasione del convegno IAG2025. Il senso di tale contributo è quindi quello di diffondere tale iniziativa anche in ambito nazionale.
Tutti gli elementi di dettaglio sono quindi recuperabili nella pubblicazione [1].
Le reti geodetiche costituiscono l'infrastruttura di riferimento per la rappresentazione, il rilievo e il monitoraggio del territorio. In Emilia-Romagna, subsidenza, erosione costiera, frane ed eventi estremi richiedono misure accurate e confrontabili nel tempo. Tali misure, pur essendo ottenibili mediante differenti tecniche di rilievo, dovrebbero essere riferite a un sistema di riferimento geodetico comune, aggiornato e condiviso. Il progetto di Rete Geodetica Integrata (GIN) combina stazioni GNSS permanenti, mareografi, reti di livellazione e vertici GNSS passivi, collegati ai riferimenti nazionali. L'integrazione di quote ellissoidiche e ortometriche, sostenuta da un modello geoidico locale, permetterà di supportare il posizionamento di precisione, la gestione idraulica, gli interventi di difesa costiera e le analisi delle deformazioni superficiali del territorio.

Parole chiave: reti geodetiche, sistemi di riferimento, GNSS, livellazione geometrica, mareografi.

1 Introduzione

Il territorio dell'Emilia-Romagna comprende un'ampia pianura alluvionale, parte degli Appennini settentrionali e circa 120 km di costa prevalentemente sabbiosa. Il terremoto del 2012 e le piogge estreme del 2023 e 2024 hanno evidenziato la vulnerabilità di questo territorio. La subsidenza, di origine naturale e antropogenica, modifica le deboli

pendenze della pianura, aggravando le criticità idrauliche, mentre frane ed erosione interessano rispettivamente le aree montane e costiere. Per comprendere questa evoluzione, Regione Emilia-Romagna, Arpae, Protezione Civile, Consorzi di Bonifica e Autorità di Bacino necessitano di dati geotopografici aggiornati e riferiti a un sistema comune. GIN (Geodetic Integrated Network) risponde a tali esigenze attraverso un'infrastruttura regionale integrata. Nel seguito vengono illustrate le più importanti e diverse esigenze dei principali portatori di interesse e viene sinteticamente illustrato il progetto GIN.

2 Contesto ed esigenze degli utilizzatori

2.1 Posizionamento preciso in tempo reale

Le amministrazioni regionali devono mantenere aggiornate cartografia e banche dati topografiche. Le attività di rilievo tecnico e l'agricoltura di precisione richiedono inoltre posizionamenti centimetrici in tempo reale.

Per tali applicazioni, il posizionamento GNSS di precisione costituisce un elemento imprescindibile. La disponibilità di Reti di stazioni permanenti NRTK, integrate a una rete densa di vertici geodetici passivi, consente di raggiungere precisioni centimetriche in tempo reale, sia mediante l'utilizzo delle correzioni di rete (NRTK) che attraverso il tradizionale approccio RTK (base-rover).

La disponibilità di quote ortometriche per i vertici della rete di raffittimento e di un modello di ondulazione geoidica consentono inoltre di stimare anche quote di natura ortometrica a partire da quote ellissoidiche ottenute mediante posizionamento GNSS.

2.2 Erosione costiera

Il litorale è esposto a ingressione marina, erosione e subsidenza. Arpae monitora l'evoluzione delle spiagge e l'efficacia delle opere di difesa e dei ripascimenti mediante rilievi topografici e batimetrici realizzati a cadenza triennale. L'analisi dell'evoluzione della costa, considerando anche la stima dei volumi erosi o depositati, costituisce un elemento fondamentale per poter pianificare interventi di protezione o ripascimento costiero volti a ripristinare lo stato del litorale nel tempo e quindi preservarne gli aspetti naturali.

2.3 Monitoraggio dei fiumi

Le stazioni idrometriche misurano i livelli idrometrici rispetto a riferimenti locali non uniformi e non interconnessi, rendendo complesso il confronto delle osservazioni e la modellazione idraulica. Una rete di livellazione unificata che collega altimetricamente gli idrometri alle quote degli alvei, degli argini, al livello medio del mare risulta importante per la corretta gestione degli ambienti fluviali.

2.4 Monitoraggio della subsidenza

La compattazione dei sedimenti alluvionali produce una subsidenza naturale di pochi millimetri all'anno, localmente accentuata dall'estrazione di fluidi sotterranei. Dal 1997 ad oggi Arpae ha sempre utilizzato metodi topografici per la stima di tali abbassamenti.

Inizialmente, il monitoraggio della subsidenza veniva effettuato mediante tecniche di livellazione geometrica dal mezzo, successivamente affiancate dall'impiego dei sistemi GNSS. Negli ultimi anni, il forte sviluppo della tecnologia InSAR ha consentito di ottenere mappe di subsidenza ad altissima risoluzione spaziale che, se integrate a dati acquisiti dalle reti di stazioni GNSS, possono essere riferite a sistemi di riferimento geodetici riconosciuti a livello internazionale.

2.5 Dinamiche e previsioni marine

Mareografi co-localizzati con stazioni GNSS permettono di distinguere le variazioni del livello del mare dai movimenti verticali del suolo. Il loro collegamento mediante livellazione di alta precisione garantisce di poter definire un datum verticale comune, a supporto delle previsioni marine, della gestione costiera e delle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici.

3 Il progetto GIN

Per fare fronte alle diverse problematiche del territorio precedentemente illustrate sono necessarie tecniche differenti che, per poter essere gestibili in modo integrato, devono essere riferite ad un sistema di riferimento comune. GIN integra una componente attiva, costituita da stazioni GNSS permanenti e mareografi, con una componente passiva di capisaldi di livellazione e vertici tridimensionali.

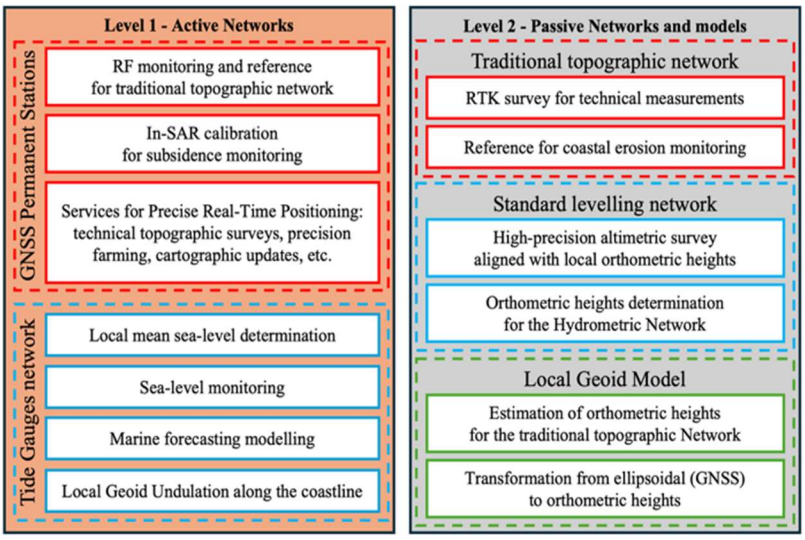

Fig. 1 - Schema concettuale del progetto di Rete Geodetica Integrata costituita da infrastrutture geodetiche attive (mareografi e stazioni permanenti GNSS) e passive (rete di livellazione e di raffittimento GNSS)

Le stazioni GNSS sostengono servizi NRTK centimetrici, calibrazione InSAR e inquadramento delle reti tradizionali; i mareografi consentono di analizzare il livello del mare-separando gli effetti della subsidenza.

Le reti passive rendono il riferimento accessibile agli operatori sul territorio. Questa struttura favorisce la condivisione dei dati e il coordinamento fra enti e istituzioni scientifiche. In Figura 1 si mostra uno schema concettuale del progetto.

3.1 Aspetti tecnici

La progettazione della rete geodetica integrata prevede una copertura di stazioni permanenti GNSS regionale (sia per il controllo delle deformazioni che per l'erogazione di servizi di posizionamento in tempo reale) e l'installazione di mareografi, collegati mediante livellazione geometrica dal mezzo a linee di livellazione che si estendono dalla costa verso l'interno lungo i principali corsi d'acqua. I vertici classici passivi, destinati prevalentemente al posizionamento GNSS in modalità RTK tradizionale, costituiranno un raffittimento della rete di stazioni permanenti GNSS. Almeno un sottoinsieme di tali vertici sarà inoltre individuato in corrispondenza di capisaldi di livellazione, al fine di stimare le ondulazioni geoidiche necessarie per la

conversione delle quote ellissoidiche ottenute mediante GNSS, in quote ortometriche, molto più rilevanti per applicazioni di natura idraulica.

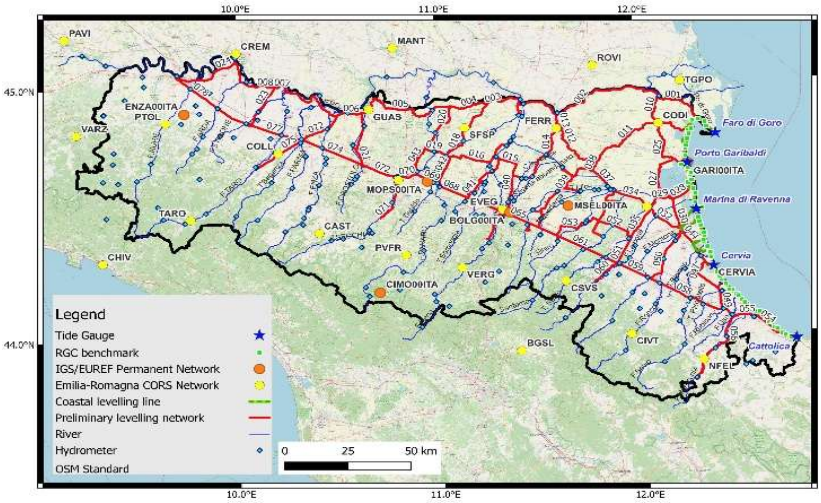

Fig. 2 - Progetto della Rete Geodetica Integrata (GIN)

L'inquadramento generale della rete GIN sarà coerente con il sistema ETRF2000 all'epoca 2008.0 per gli aspetti planimetrici e la stima della quota ellissoidica, mentre le quote ortometriche saranno disponibili con riferimento sia al livello medio mare locale sia al datum Genova 1942. I loro aggiornamenti nel tempo, riconducibili ad effetti di subsidenza, incorporeranno i modelli di subsidenza elaborati da Arpae. Le osservazioni sui nuovi vertici consentiranno inoltre l'adattamento locale del modello ITALGEO, migliorando la conversione fra quote ellissoidiche e ortometriche. In Figura 2 si riporta una mappa con il progetto della rete GIN.

3.2 Progettazione e stato di attuazione

Dal 2014 ad oggi, la rete ha avuto un'evoluzione non lineare ma è sempre proseguita con continuità.

Per quanto attiene gli aspetti mareografici, alle stazioni di Porto Garibaldi, Marina di Ravenna e Faro di Goro negli ultimi anni sono state aggiunte due stazioni a Cervia e Cattolica (in questo momento tutti i mareografi risultano co-localizzati con Stazioni permanenti GNSS). In particolare, la stazione mareografica di Porto Garibaldi appartiene alla rete EUREF dal 2009 e dispone dal 2010 di dati del livello del mare correggibili per la subsidenza.

Per quanto riguarda la rete di livellazione invece, nel 2023 è stato eseguito un primo rilievo mediante livellazione geometrica dal mezzo di alta precisione che ha collegato altimetricamente al Mareografo di Porto Garibaldi tutti i vertici della rete Geodetica Costiera (RGC). Questa linea di livellazione, ed i capisaldi che la materializzano, costituisce da un lato il riferimento per il monitoraggio dell'erosione e per la

realizzazione delle opere di difesa, collegando rilievi terrestri e osservazioni del livello del mare, ma costituisce anche un primo passo per la rete di livellazione che, a partire dalla costa si svilupperà sull'intero territorio Emiliano Romagnolo.

La rete delle stazioni GNSS permanenti è in fase di ultimazione, nel 2025 e 2026 sono state installate tutte le stazioni GNSS di riferimento previste dal progetto e l'erogazione dei servizi di posizionamento di precisione in tempo reale e gratuiti è prevista per i primi mesi del 2027.

Ci sono invece ancora attività da ultimare che riguardano prevalentemente le reti di natura passiva in quanto più onerose sia in termini di progettazione che di materializzazione e rilievo. In particolare:

- Sono previsti circa 1.518 km di linee, organizzate in 27 anelli chiusi, con tratti medi di 1 km. La rete collegherà 86 teleidrometri nelle aree pianeggianti e collinari, uniformando le quote al riferimento altimetrico collegato al livello medio del mare locale di Porto Garibaldi.
- È prevista l'installazione di 600-700 vertici tridimensionali, distribuiti sull'intero territorio regionale a distanze di 7–10 km per il rilievo RTK. La prossimità o coincidenza con capisaldi di livellazione faciliterà il collegamento altimetrico e la determinazione dell'ondulazione geoidica locale. La conoscenza congiunta delle quote ellissoidiche e ortometriche permetterà di ricavare un modello geoidico locale basato sulla rete GIN, rendendo utilizzabili le misure GNSS anche per applicazioni che richiedono quote ortometriche precise.

4 Prospettive

GIN fornirà un riferimento planimetrico e altimetrico regionale aggiornato, collegato ai sistemi nazionali, per il rilievo e il monitoraggio dei fenomeni naturali e antropici. Il mantenimento dell'infrastruttura richiederà procedure di aggiornamento delle componenti attive e passive, già in sviluppo, affinché le coordinate restino rappresentative dell'evoluzione del territorio.

Riferimenti bibliografici

1. De Nigris, N. et al. (2026). GIN Project: A Geodetic Integrated Network for Monitoring and Topographical Surveying in the Emilia-Romagna Region Suitable both for Classical and Space Geodetic Techniques. In: International Association of Geodesy Symposia. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/1345_2026_394