

L'introduzione della costellazione Galileo nelle reti GNSS: quali vantaggi?

Gian Bartolomeo Siletto ^(a), Piera Belotti ^(b), Monica Segré ^(b),
Marzio Pipino ^(c), Mattia De Agostino ^(c)

^(a) Regione Piemonte, Direzione Ambiente, Governo e Tutela del territorio -
Settore Sistema Informativo Territoriale Ambientale, Corso Bolzano 44, Torino,
gianbartolomeo.siletto@regione.piemonte.it

^(b) Regione Lombardia, Direzione Generale Territorio e Protezione Civile, Struttura Sistema
Informativo Territoriale Integrato, Piazza Città di Lombardia 1, Milano,
(piera_belotti, monica_segre)@regione.lombardia.it

^(c) CSI-Piemonte, Corso Unione Sovietica 216, Torino,
(marzio.pipino, mattia.deagostino)@csi.it

Il sistema satellitare Galileo: architettura e stato dell'arte

Galileo è il sistema satellitare di navigazione globale (*Global Navigation Satellite System*, GNSS) europeo, sviluppato per fornire la posizione, la navigazione e informazioni sul tempo agli utenti di tutto il mondo. A differenza di altri sistemi GNSS, Galileo è gestito da un ente civile, l'Agenzia Spaziale Europea (ESA), ed è stato progettato in risposta alle esigenze delle diverse comunità di utenti.

Il segmento satellitare di Galileo prevede l'utilizzo di 30 satelliti (24 operativi e 6 ricambi), in orbita ad oltre 23.000 chilometri di altitudine. I satelliti saranno distribuiti in modo uniforme su tre piani orbitali, e impiegheranno circa 14 ore per orbitare intorno alla Terra. Attualmente, dei 30 satelliti previsti, sono già stati lanciati 26 satelliti, di cui 22 già utilizzabili per il posizionamento. I lanci continueranno fino al raggiungimento della piena operatività, prevista entro la fine del 2020.

I quattro servizi previsti per il sistema Galileo (Open Service, High Accuracy Service, Public Regulated Service, Search and Rescue) offriranno diversi livelli di accuratezza, robustezza, autenticazione e sicurezza, su tre diverse bande di frequenza (denominate E1, E5 ed E6), parzialmente sovrapposte a quelle degli altri sistemi GNSS.

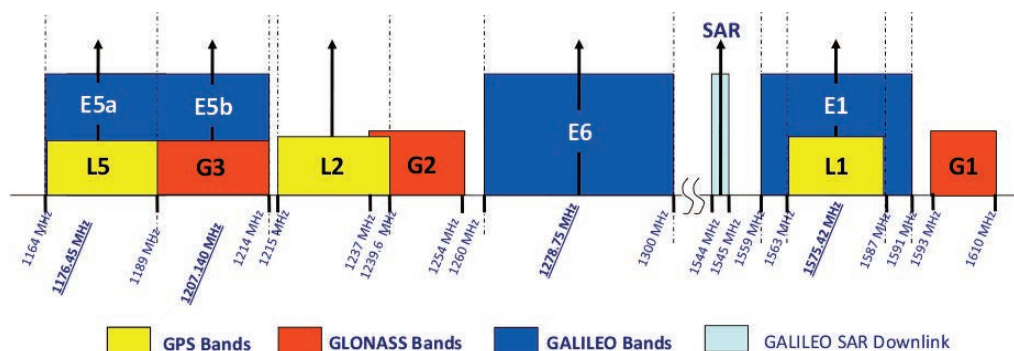


Figura 1 – Bande di frequenza impiegate dal sistema Galileo e dagli altri sistemi GNSS (fonte: <https://gssc.esa.int/navipedia/>)

L'avvio, a fine 2016, dei *Galileo Initial Services* ha decretato l'avvio della fornitura dei servizi di posizionamento, navigazione e di tempo agli utenti, in qualsiasi parte del mondo essi si trovino. Al momento, i servizi attivi sono l'Open Service (OS) e il Search and Rescue (SAR), che consentono di raggiungere precisioni ed accuratezze superiori rispetto a quelle ottenibili con gli altri sistemi GNSS.

I primi report prodotti dall'Agenzia Spaziale Europea sulle prestazioni del servizio pubblico destinato all'utenza (l'Open Service) hanno fornito una prima indagine sulle prestazioni attese dal sistema, mostrando di fatto la conferma dei valori di accuratezza attesi. Per quanto concerne infatti l'accuratezza media (al 95%), sono stati rilevati valori inferiori a 2 metri in planimetria e ai 5 metri in altimetria, considerando un ricevitore doppia frequenza ed abilitando solo la costellazione Galileo (ESA, 2019).

Dispositivi abilitati a Galileo

In seguito al già citato avvio dei Galileo Initial Services, i produttori di *chipset* e ricevitori GNSS e gli sviluppatori di applicazioni hanno potuto iniziare a sfruttare i segnali di Galileo. Dopo la diffusione di dispositivi ad alta precisione, già da tempo predisposti e abilitati alla costellazione europea, anche i dispositivi destinati al mercato di massa (compresi smartphone e sistemi di navigazione) hanno iniziato ad integrare Galileo. Attualmente, la maggior parte dei *chipset* e dei ricevitori abilitati al GNSS europeo può essere trovata nei settori *automotive*, *mass-market*, nell'agricoltura di precisione e ovviamente nel rilevamento topografico e geodetico.

Per tenere aggiornati gli utenti con informazioni dettagliate su tutti i prodotti compatibili con Galileo, la GSA ha lanciato il sito internet www.useGalileo.eu. Da questo sito web, gli utenti possono navigare con facilità nell'elenco aggiornato di prodotti e dispositivi attualmente disponibili abilitati a Galileo e cercare i dispositivi per segmento di mercato.

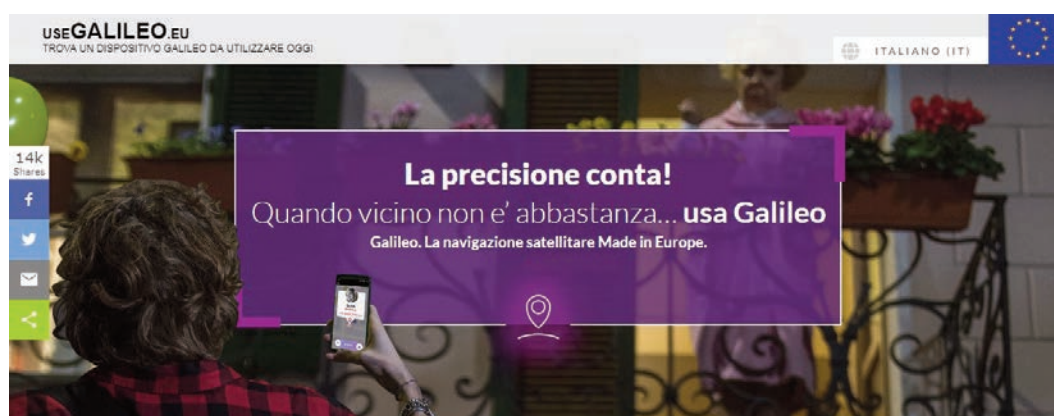


Figura 2 - Schermata di avvio del sito www.useGalileo.eu

Ad esempio, prendendo come riferimento il mercato degli strumenti GNSS per il rilievo topografico e geodetico del territorio, ad oggi vi sono 214 modelli di ricevitori GNSS ad alta precisione già pronti a ricevere ed utilizzare i servizi di

Galileo, mentre vi sono già 77 modelli utilizzabili come stazioni permanenti Galileo all'interno delle reti GNSS¹.

A conferma di quanto detto in precedenza, nel mercato dei Location Based Services, 184 smartphone sono in grado di decodificare il segnale di Galileo, fornendo all'utente una posizione più affidabile e robusta². Oltre che per i vantaggi sopra illustrati, è presumibile attendersi un aumento dell'interesse per il mercato degli LBS ed in generale per il posizionamento GNSS da dispositivo mobile, alla luce anche della possibilità, offerta nell'ultima versione del sistema operativo Google Android, di utilizzare i dati grezzi GNSS per il posizionamento, by-passando gli algoritmi interni del chipset e permettendo quindi l'implementazione di algoritmi e di servizi per il miglioramento della posizione dell'utente anche in questo settore di mercato (attualmente, 48 modelli di smartphone/tablet consentono l'accesso ai dati grezzi GNSS³).

Reti GNSS e servizi abilitati a Galileo

Le reti GNSS internazionali IGS e EUREF EPN, utilizzate per definire e monitorare i sistemi di riferimento internazionale ed europeo, sono ormai costituite per la maggior parte da stazioni permanenti in grado di tracciare ed utilizzare il segnale proveniente dalla costellazione Galileo.

Per quanto riguarda i servizi di miglioramento della precisione, ad oggi sul sito www.useGalileo.eu sono presenti 37 servizi su scala mondiale in grado di fornire le correzioni differenziali anche per Galileo. Si tratta per lo più di reti GNSS di ditte commerciali, che erogano i loro servizi di *augmentation* su scala europea o mondiale. Da questo elenco sono tuttavia escluse moltissime realtà nazionali e regionali, che già sono in grado di erogare i propri servizi anche per la costellazione europea.

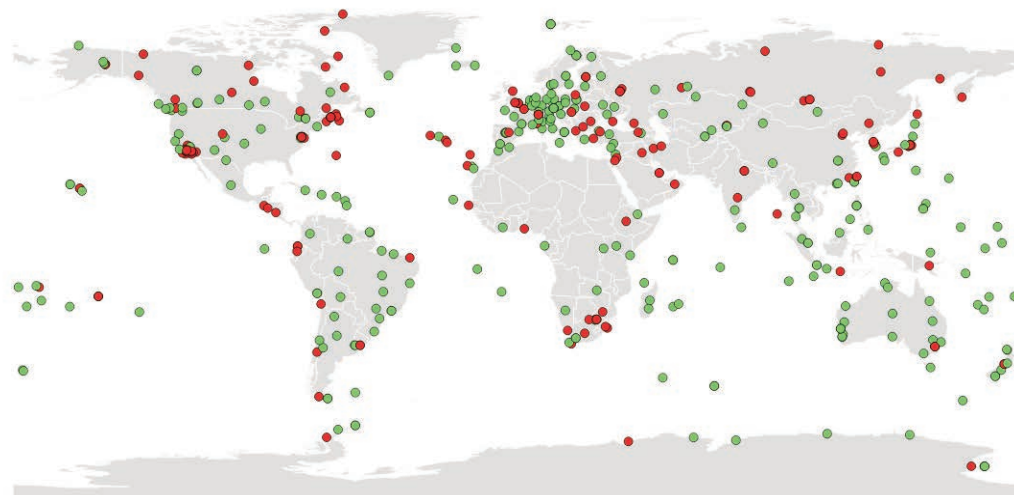


Figura 3 - Stazioni della rete IGS che materializzano il sistema ITRS a livello mondiale. In verde, le stazioni abilitate a Galileo (314 stazioni, il 65% del totale)

1 <https://www.usegalileo.eu/IT/inner.html#data=surveying>, dato riferito a Ottobre 2019

2 <https://www.usegalileo.eu/IT/inner.html#data=smartphone>, dato riferito a Ottobre 2019

3 <https://developer.android.com/guide/topics/sensors/gnss>, dato riferito a Giugno 2019

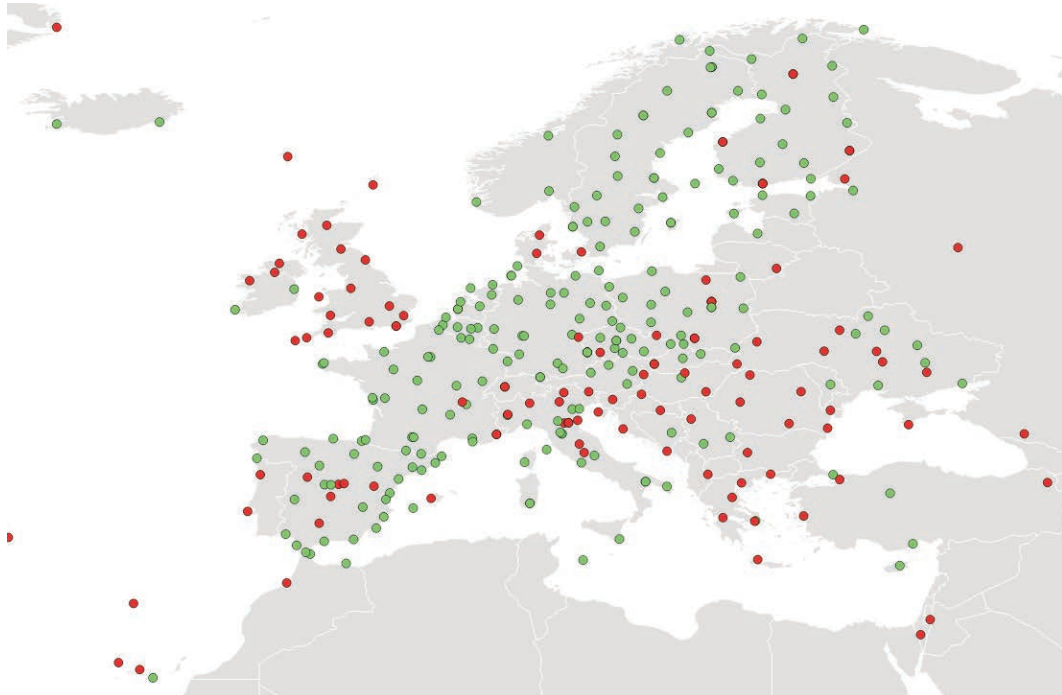


Figura 4 - Stazioni della rete EUREF EPN che materializzano il sistema ETRS a livello europeo. In verde, le stazioni abilitate a Galileo (230 stazioni, il 68% del totale)

Adeguamento della rete SPIN GNSS a Galileo

L'adeguamento del Servizio di Posizionamento Interregionale GNSS di Regione Piemonte e Regione Lombardia (SPIN GNSS) al sistema Galileo si è articolato in una serie di attività di aggiornamento sia della componente software sia della componente hardware, a cui hanno fatto seguito una serie di test per verificare la qualità del servizio erogato.

La soluzione per la gestione della Rete Interregionale di Stazioni Permanenti GNSS attualmente in esercizio utilizza il pacchetto software GNSS Spider di Leica Geosystems. L'adeguamento del servizio alla nuova costellazione europea ha pertanto comportato dapprima l'aggiornamento all'ultima versione disponibile del software e di tutti i ricevitori GNSS già predisposti a Galileo. L'operazione di aggiornamento dei ricevitori a Galileo si completerà entro la fine del 2020 con la sostituzione degli ultimi apparati non predisposti al tracciamento della costellazione europea.

Terminate queste operazioni, sono stati configurati gli opportuni prodotti di rete che contenessero, oltre alle correzioni differenziali relative ai satelliti GPS e GLONASS, anche quelle della costellazione Galileo. Questi prodotti sono stati predisposti su tutte le modalità di correzione NRTK supportate dal software GNSS Spider per Galileo, ovvero in modalità Virtual Reference Station (VRS), Individualized Master-Auxiliary Corrections (iMAX) e dalla stazione reale più vicina all'utente (Nearest). I prodotti sono stati configurati in maniera da essere erogati in maniera analoga ai prodotti esistenti, avvalendosi dunque del protocollo NTRIP e del più recente formato di trasmissione RTCM in grado di supportare le correzioni multi-costellazione (RTCM 3 MSM5).

Completate le attività di aggiornamento, configurazione e verifica del sistema, oltre che delle attività di verifica della qualità del posizionamento GNSS integrato con il sistema Europeo (descritte nel capitolo seguente), i prodotti di

correzione differenziale sono stati resi disponibili a tutti gli utenti iscritti al servizio. Tale operazione è stata completata in data 15 Aprile 2019, a seguito dell’attivazione di tre nuovi *mountpoint* all’interno del server NTRIP. L’elenco completo dei servizi disponibili all’utenza, con evidenziati i nuovi prodotti che includono Galileo, è riportato nella successiva Tabella 1.

L’attivazione dei servizi Galileo è stata comunicata agli utenti attraverso i canali ufficiali di diffusione, ovvero attraverso la pubblicazione di apposite news sul sito internet della rete (www.spingnss.it) e sul Geoportale di Regione Piemonte (www.geoportale.piemonte.it).

Tabella 1 – Elenco dei servizi disponibili per tutti gli utenti, con evidenziati in grassetto i prodotti che includono le correzioni per Galileo

Mountpoint	Formato di trasmissione	Costellazioni
RTK_MAC/MAX_RTCM3	RTCM 3.x	GPS+GLO
RTK_VRS_RTCM3	RTCM 3.x	GPS+GLO
RTK_VRS_RTCM2	RTCM 2.3	GPS+GLO
RTK_VRS_CMV	CMV	GPS+GLO
RTK_VRS_CMV+	CMV+	GPS+GLO
RTK_NRT_RTCM2	RTCM 2.3	GPS+GLO
RTK_NRT_RTCM3	RTCM 3.x	GPS+GLO
RTK_iMAX_RTCM3	RTCM 3.x	GPS+GLO
RTK_FKP_RTCM2	RTCM 2.3	GPS+GLO
GAL_VRS_MSM5	RTCM 3 (MSM5)	GPS+GLO+GAL
GAL_iMAX_MSM5	RTCM 3 (MSM5)	GPS+GLO+GAL
GAL_NRT_MSM5	RTCM 3 (MSM5)	GPS+GLO+GAL

Sperimentazione del servizio SPIN GNSS con Galileo

Con l’obiettivo di valutare la qualità dei prodotti erogati, ed in particolare dei benefici connessi con l’introduzione delle correzioni differenziali di Galileo, sono stati eseguiti alcuni test in campo avvalendosi di strumentazione GNSS da campo, anch’essa opportunamente aggiornata. Con l’obiettivo di poter disporre di test che fossero il più possibile completi, sono state eseguite alcune misurazioni seguendo le modalità operative più diffuse da parte dell’utenza professionale della rete (rilievo NRTK, stazionamento sul punto per 5 secondi):

- ∞ utilizzando diversi prodotti di rete e al variare dei satelliti tracciati: sono stati utilizzati diversi prodotti di rete, in maniera tale da sfruttare le differenti metodologie di correzione differenziale (VRS, iMAX, Nearest) e le combinazioni di costellazioni disponibili (GPS+GLONASS, GPS+GLONASS+Galileo);
- ∞ in diversi ambienti di misurazione: i test sono stati effettuati sia in ambiente ottimale, con condizioni di cielo aperto e assenza di ostacoli, sia in ambienti più disturbati dove i benefici di utilizzare più costellazioni e segnali più puliti dovrebbero risultare maggiori (ambiente urbano, con presenza di ostacoli di tipo naturale o antropico).

In maniera da verificare l'effettiva qualità delle correzioni differenziali, si è scelto di effettuare le misure in un sito che fosse sufficientemente distante dalle stazioni permanenti reali della rete, e che consentisse di avere a disposizione ambienti dalla rumorosità variabile. Per questo motivo, i test sono stati condotti nell'intorno della città di Vercelli, situata a 20 km dalla stazione permanente più vicina (Novara), e al centro di una maglia di stazioni distanti in media 30/35 km. All'interno della città, sono stati scelti come punti di misura i vertici di raffittimento della rete geodetica comunale, rimisurata nel 2012 dal CSI-Piemonte ed inquadrata nel sistema ETRF2000/RDN. In particolare, sono stati individuati 7 punti caratterizzati da differenti ambienti di misurazione, ed in cui fosse possibile eseguire una serie di test operativi finalizzati a verificare la qualità delle correzioni differenziali erogate.



Figura 5 - Esecuzione della campagna di misura con strumentazione GNSS professionale

Su ciascun punto, il ricevitore GNSS è stato montato su un treppiede di tipo geodetico, e sono state eseguite misurazioni con le seguenti configurazioni:

- ∞ correzioni di rete VRS GPS+GLONASS;
- ∞ correzioni di rete VRS GPS+GLONASS+Galileo;
- ∞ correzioni di rete iMAX GPS+GLONASS;
- ∞ correzioni di rete iMAX GPS+GLONASS+Galileo;
- ∞ correzioni dalla stazione più vicina (NOVR) GPS+GLONASS;
- ∞ correzioni dalla stazione più vicina (NOVR) GPS+GLONASS+Galileo.

Per ciascuna configurazione, sono state eseguite due differenti misure, inizializzando per ciascuna misura la soluzione ad ambiguità fissata. Per ciascuna misura sono state registrate le seguenti variabili:

- ∞ tempo trascorso prima del fissaggio dell'ambiguità (TTF, in secondi);
- ∞ satelliti GPS, GLONASS e Galileo tracciati prima della connessione al servizio;
- ∞ satelliti GPS, GLONASS e Galileo tracciati durante la connessione al servizio;
- ∞ indici DOP orizzontali, verticali e globali (HDOP, VDOP, TDOP, GDOP).

Le successive Tabella 2 e Tabella 3 sintetizzano i risultati ottenuti rispettivamente considerando i punti caratterizzati da scenari indisturbati e da scenari di tipo urbano.

Tabella 2 - Sintesi dei risultati ottenuti in ambiente indisturbato

Vertice	Correzione	TIPO	SV	HDOP	Errore 2D [cm]	Errore 3D [cm]
A16	VRS	G+R	10.5	0.8	0.9	3.3
	VRS	G+R+E	16	0.7	0.7	1.7
	iMAX	G+R	11	0.8	0.6	2.0
	iMAX	G+R+E	15.5	0.8	0.7	2.4
	Nearest	G+R	14	0.6	1.1	1.4
	Nearest	G+R+E	20	0.6	0.6	1.4
V28	VRS	G+R	14	0.7	0.6	2.5
	VRS	G+R+E	14	0.7	0.8	3.3
	iMAX	G+R	14	0.7	0.6	4.2
	iMAX	G+R+E	15	0.7	1.2	3.1
	Nearest	G+R	15	0.7	1.0	2.8
	Nearest	G+R+E	20.5	0.6	0.8	2.8

Tabella 3 - Sintesi dei risultati ottenuti in ambiente disturbato

Vertice	Correzione	TIPO	SV	HDOP	Errore 2D [cm]	Errore 3D [cm]
V07 (presenza di alberi vicino al sito di misura)	VRS	G+R	11	1.2	1.1	4.3
	VRS	G+R+E	14.5	1.0	0.9	5.4
	iMAX	G+R	12.5	0.8	1.0	5.0
	iMAX	G+R+E	16	0.7	0.9	5.0
	Nearest	G+R	14	0.7	1.9	6.2
	Nearest	G+R+E	18.5	0.6	2.3	5.0
V18 (zona edificata, presenza di traffico e potenziali cycle-slip)	VRS	G+R	13	0.8	1.6	3.6
	VRS	G+R+E	17	0.7	2.6	4.6
	iMAX	G+R	14	0.7	3.2	5.2
	iMAX	G+R+E	17.5	0.7	2.6	3.5
	Nearest	G+R	14	0.7	3.0	4.2
	Nearest	G+R+E	18.5	0.7	2.8	3.5
V19 (presenza di alberi con fogliame sopra al sito di misura)	VRS	G+R	14	0.8	2.2	3.2
	VRS	G+R+E	17	0.7	2.3	3.7
	iMAX	G+R	14	0.7	1.7	5.9
	iMAX	G+R+E	16	0.7	1.4	3.1
	Nearest	G+R	13	0.8	1.8	6.8
	Nearest	G+R+E	17	0.7	3.0	3.5

L'analisi dei risultati riportati nelle tabelle permette di trarre alcune interessanti conclusioni relative alla qualità del posizionamento GNSS con e senza l'apporto dei satelliti della costellazione Galileo.

In particolare, i risultati riportati in Tabella 2 e relativi al posizionamento in ambiente non disturbato (aperta campagna, assenza o limitata presenza di ostacoli all'orizzonte) mostrano come l'utilizzo di Galileo fornisca un beneficio soprattutto nel caso del posizionamento tridimensionale: si veda, ad esempio, il miglioramento ottenuto con la correzione VRS nel punto A16 (da 3.3 cm a 1.7 cm), o quello della correzione iMAX nel punto V28 (da 4.2 cm a 3.1 cm). Il posizionamento planimetrico non sembra invece essere particolarmente influenzato dall'introduzione delle correzioni di Galileo, anche in virtù del fatto che i valori di errore rilevati, quasi sempre sub-centimetrici o al più centimetrici, sono già da considerarsi come ottimali per un posizionamento di tipo NRTK.

Una maggiore incidenza dei benefici legati all'introduzione della costellazione Galileo è possibile osservarla invece nel caso di misure in ambienti disturbati. In questo caso, sono stati scelti a titolo di esempio i tre vertici maggiormente caratterizzati da disturbi al posizionamento GNSS (alberi con fogliame anche sopra al punto di misura, presenza di edifici o passaggio di veicoli che potessero disturbare la misura). L'analisi degli errori planimetrici e tridimensionali riportati in Tabella 3 mostra innanzitutto, come era lecito attendersi, un peggioramento della qualità del posizionamento GNSS, che passa da valori sub-centimetrici in planimetria a valori in alcuni casi pari o superiori ai 2/3 cm (e da 2/3 cm a 4/5 cm in altimetria). In questo caso, un primo beneficio legato all'introduzione delle correzioni differenziali per il sistema satellitare europeo è visibile anche solo osservando i risultati ottenuti con le correzioni dalla stazione permanente più vicina (circa 20 km). Il posizionamento tridimensionale in questo caso passa da un valore medio sui tre punti di 5.7 cm nel caso di configurazione GPS+GLONASS (con circa 14 satelliti in vista) ad un valore medio di 4 cm nel caso in cui si considerino anche i satelliti Galileo (con il numero di satelliti in vista che sale a circa 18).

Un ulteriore beneficio si può notare anche osservando le correzioni ad area di tipo iMAX: in due casi infatti l'errore tridimensionale sul punto scende da circa 6 cm fino a circa 3 cm, se si considerano anche le correzioni dei satelliti europei.

In conclusione, i primi test condotti mostrano come l'utilizzo anche del sistema di posizionamento europeo Galileo costituisca un vantaggio soprattutto negli ambienti disturbati, ovvero laddove il crescente numero di satelliti in vista (in media, 4/5 satelliti in più rispetto alla configurazione GPS+GLONASS) risulta maggiormente importante per irrobustire la qualità della soluzione finale, soprattutto dal punto di vista del posizionamento tridimensionale.

Bibliografia

ESA (2019), European GNSS (Galileo) Initial Services - Open Service. Quarterly performance report, April - June 2019. Disponibile qui (agg. Ottobre 2019): <https://www.gsc-europa.eu/electronic-library/galileo-service-performance-reports>