

UN METODO INNOVATIVO PER PREDIRE ED IDENTIFICARE I FALSI FISSAGGI DELL'AMBIGUITÀ DI FASE GNSS IN RETI DI STAZIONI PERMANENTI

AN INNOVATIVE METHOD TO PREDICT AND TO DETECT THE FALSE FIXING OF THE GNSS PHASE AMBIGUITY IN CORS NETWORKS

Paolo Dabove

Politecnico di Torino – Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129, Torino,
paolo.dabove@polito.it

PAROLE CHIAVE: controllo di qualità, GNSS, posizionamento NRTK, falsi fissaggi dell'ambiguità di fase, strumenti GNSS di basso costo

KEY WORDS: quality control, GNSS, NRTK positioning, false fixing of ambiguity phase, low-cost GNSS instruments

RIASSUNTO

Una delle criticità nel posizionamento GNSS NRTK (Real Time Kinematic Network) è il corretto fissaggio dell'ambiguità di fase. Questo lavoro vuole cercare di focalizzare l'attenzione sul controllo della qualità del posizionamento GNSS in tempo reale, sia dal punto di vista di ciò che la rete fornisce sia analizzando i prodotti di rete utilizzati da un generico ricevitore rover all'interno di una rete di stazioni permanenti. La qualità del posizionamento è un parametro che deve essere monitorata in tempo reale per evitare errati fissaggi dell'ambiguità di fase, chiamati anche FF (falso fissaggio); tali avvenimenti possono essere dovuti sia a problemi interni del software di rete sia, nella maggior parte dei casi, a fattori dipendenti dall'ambiente (ostruzioni, multipath etc.) nel quale il ricevitore opera. Al fine di poter identificare ma soprattutto predire tali accadimenti, è stato sviluppato uno strumento che, partendo dai dati disponibili in tempo reale da un utente connesso a un servizio di posizionamento RTK, può identificare con una certa soglia di probabilità della presenza effettiva, o la possibilità di accadimento, di un falso fissaggio. Lo stimatore dei FF è composto da una rete neurale, addestrata a priori con alcuni set di dati, ed ha, come una singola uscita, un valore per ogni epoca che indica la probabilità che il fissaggio dell'ambiguità di fase sia corretto. Sono stati ottenuti interessanti e sorprendenti risultati con strumentazione GNSS geodetica: si riesce infatti non solo ad identificare ma anche a predire in maniera corretta i FF nel 95% dei casi, indipendentemente dalla correzione differenziale considerata e dalla dimensione della rete di stazioni permanenti. In tale lavoro sono stati considerati solo parametri provenienti dall'utente in tempo reale, ma in futuro si andranno a considerare anche parametri di rete al fine di analizzare il perché vi siano ancora dei falsi fissaggi ad oggi inspiegabili.

ABSTRACT

One of the most critical points during the GNSS NRTK (Network Real Time Kinematic) positioning is the correct fixing of the phase ambiguity. This work wants to try to focus attention on the quality control of the real-time GNSS positioning, both from the point of view of what the network provides, and from one of the network products is used by the rover receiver. The quality of the positioning is a parameter that must be monitored in real time to avoid an incorrect ambiguity fixing, also called FF (false fixing), occurring; this can be due both to internal problems of the network software and, more often, to the environment (obstructions, multipath and so on) within which where the receiver works. To achieve this control a tool was designed that, starting from the data available in real time from a user connected to an NRTK positioning service, can identify with a certain probability threshold the effective presence, or the possibility, of a false fixing. The FF estimator will be composed of a neural network, trained a priori with some datasets, and will have, as a single output, the probability that the current fixing is a false fixing of the phase ambiguity. Interesting and surprising results with geodetic GNSS receivers were obtained: in fact FFs are not only identified but also predicted correctly in 95% of cases, regardless of differential correction and the size of the network of permanent stations. In this work only parameters available in real time from the user were considered, but in the future the goal will be to consider also some network parameters in order to analyze why there are still unexplained FFs.

1. INTRODUZIONE

Il posizionamento NRTK (Network Real Time Kinematic) ha avuto un enorme sviluppo negli ultimi anni, grazie alla comparsa delle reti di stazioni permanenti GNSS. Uno degli obiettivi principali di queste reti è di estendere il posizionamento differenziale in tempo reale oltre il limite di 10-15 km, consentendo un posizionamento utile per numerose applicazioni quali il rilevamento topografico, il monitoraggio di

eventi di dissesto (es. dissesti idrogeologici, movimenti franosi,...) oltre che la navigazione di precisione.

Considerando questa tipologia di posizionamento, l'utente può ottenere una precisione centimetrica in tempo reale, raggiungibile dopo un corretto fissaggio dell'ambiguità di fase (Lachapelle et al., 2000). Ciò significa che deve essere determinato con precisione il numero di cicli interi di lunghezza d'onda nelle misurazioni di fase (portante), cosa molto difficile da determinare.

A tal proposito, sono stati condotti numerosi studi circa le procedure per il fissaggio dell'ambiguità di fase ad intero ai fini del posizionamento di precisione e per la navigazione (O'Keefe et al., 2012). Tradizionalmente, tale fissaggio è determinato tramite test statistici, come ad esempio il *R-ratio test* (Eulero e Schaffrin, 1991; Eulero e Goad, 1992; Feng et al, 2011; Feng et al, 2012), il *F-test ratio* (Frei e Beutler, 1990), *W-test ratio* (Wang et al, 1998 e 2000. Wang, 2000), il *difference test* (Tiberio e de Jonge, 1995), ed il *projector test* (Han, 1997; Wang et al. , 1998; Teunissen 2003). La maggior parte di questi test statistici sono stati derivati da R1 e R2, che sono due forme quadratiche dipendenti dal rapporto tra il valore più probabile e il secondo valore più probabile di ambiguità intera stimata per l'epoca considerata. I principali studi su queste tematiche sono stati effettuati da Teunissen (2003), Verhagen (2004, 2005), Verhagen e Teunissen (2006a e 2006b), Li e Wang (2014). Una caratteristica comune di questi test di validazione del fissaggio dell'ambiguità è che viene richiesto un valore di soglia scelto empiricamente assieme alla relativa distribuzione di probabilità (Liu et al, 2014; Henkel e Günther, 2012), in funzione anche della matrice di var-covarianza delle ambiguità (Li e Wang, 2014).

Per varie ragioni, è tuttavia possibile che il fissaggio dell'ambiguità ad intero all'interno del ricevitore sia inaffidabile. Lo scopo principale di questo lavoro è permettere non solo di determinare ma addirittura di predire in tempo reale la qualità del fissaggio dell'ambiguità di fase, per un ricevitore rover di tipo geodetico all'interno di reti di stazioni permanenti. La qualità del posizionamento è un parametro che deve essere monitorato in tempo reale per evitare che avvengano fissaggi non corretti, detti anche falsi fissaggi (FF). Tali avvenimenti possono essere dovuti sia a problemi interni del software di rete (come ad esempio la latenza di comunicazione tra le stazioni permanenti e il software che gestisce la rete) o, più spesso, a causa dell'ambiente (ostruzioni, multipath, ...), in cui il ricevitore rover opera.

A questo proposito, si è deciso di sviluppare uno stimatore che, partendo dai dati disponibili in tempo reale da un utente connesso a un servizio di posizionamento NRTK, permetta di identificare con una certa soglia di probabilità la presenza effettiva, o la possibilità di accadimento, di un falso fissaggio. Questa soglia può essere scelta durante la fase di calibrazione di questo strumento (che riguarda sia la fase di addestramento che di test dell'algoritmo) ed è funzione del tipo di ricevitore considerato. In alcuni studi precedenti (Dabove e Manzino, 2013), sono state considerate reti di stazioni permanenti con interdistanze tra le stazioni di circa 25-30 km e ricevitori rover doppia frequenza e multi-costellazione, ottenendo ottimi risultati. In questo lavoro si vuole invece applicare ed adattare questo metodo per reti di stazioni permanenti con inter-stazione distanze anche superiori a quelle citate in precedenza (circa 70 km, cioè la distanza tipica di stazioni permanenti per reti GNSS a scala nazionale), al fine di analizzare se altri parametri ottenibili dal software di rete (quali ad esempio i ritardi ionosferico e troposferico) devono essere considerati per la previsione dei FF.

2. ANALISI DEI FALSI FISSAGGI

Come già detto in precedenza, i FF sono errori imprevedibili che si verificano quando la stima ad intero delle ambiguità è errata. Prima di tutto, è importante capire quali sono i principali fattori che ci permettono di prevedere questi eventi. Quindi è

necessario analizzare quali parametri, sia per quanto riguarda il rover che per la rete, possono essere utili per la previsione dei falsi fissaggi.

Considerando i parametri ottenibili dal rover, le uniche informazioni disponibili in tempo reale sono contenute nel messaggio NMEA (National Marine Electronics Association) o nel messaggio RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services). In questo lavoro sono tuttavia stati considerati solo i parametri contenuti nella prima tipologia di messaggio, considerando in particolare solo il messaggio GGA. Analizzando invece le informazioni disponibili dal software di rete, sono stati considerati differenti parametri:

- la latenza della correzione differenziale;
- il numero di satelliti GPS e GLONASS fissati dalla rete per ogni epoca di misura;
- gli sqm (scarti quadratici medi) della soluzione di rete per ogni epoca, espressi in metri (σ_{qp});
- il valore di ritardo ionosferico espresso in ppm lungo la direzione verticale. Questo indice è un valore caratteristico del software GNSMART®; è definito come I95 e indica l'errore ottenuto dalla stima globale di ritardo ionosferico per la rete (Wubbena et al., 2004);
- la variazione di ritardo troposferico (componente umida) per ogni stazione della rete (espresso in percentuale e derivato dal modello di Hopfield).

Nel presente lavoro sono state considerate due differenti configurazioni di reti GNSS con differenti interdistanze tra le stazioni (Figura 1) al fine di valutare l'importanza e l'impatto di differenti maglie di reti GNSS sui falsi fissaggi.

Sono stati acquisiti circa 20 giorni di dati (posizionamenti NRTK di 24 ore, con intervallo di acquisizione di 1 s) per ogni tipologia di rete, al fine di testare e valutare le principali correzioni differenziali ad oggi disponibili (VRS, MAC e NRT – Nearest).

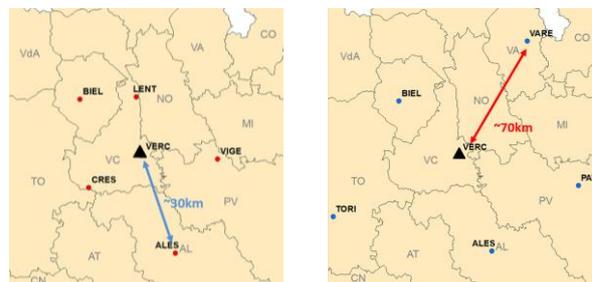


Figura 1. Le configurazioni di rete considerate: le stazioni permanenti sono identificabili dai punti rossi o blu, il rover dal triangolo nero

Al fine di poter valutare se è avvenuto un falso fissaggio ad una data epoca, sono state confrontate le coordinate ottenute in modalità NRTK con quelle di riferimento determinate tramite il post-processamento di dati grezzi (compensazione effettuata col software Bernese GPS 5.0 nel sistema di riferimento ERTF2000). Ovviamente le comparazioni sono state effettuate solo per le epoche dichiarate come "FIX" dal software di posizionamento per il real-time, dove con "FIX" si intende l'avvenuto fissaggio ad intero dell'ambiguità di fase.

Da studi effettuati in precedenza da Dabove e Manzino (2013) è possibile affermare che, per reti con interdistanze tra le stazioni pari a 25-30 km, i fattori che inducono un falso fissaggio sono:

- la latenza della correzione differenziale;

- un'errata stima dell'errore ionosferico da parte del software di rete;
- elevati valori di variazione di DOP (Dilution Of Precision);
- la repentina variazione del numero di satelliti fissati dal software di rete per epoche contigue.

Considerando ciò, al fine di poter predire i falsi fissaggi, in questo lavoro sono stati considerati solo i parametri disponibili in real-time dal ricevitore rover: tali valori sono stati utilizzati per predire e validare lo stimatore dei FF.

3. LO STIMATORE DEI FALSI FISSAGGI

Dopo un'attenta analisi della tipologia di falsi fissaggi e dei fattori che permettono la loro identificazione, si è optato per lo sviluppo di un' Artificial Neural Network (Fausett, 1994), di seguito abbreviata in ANN, che permetta la predizione di un falso fissaggio dell'ambiguità di fase. A tal proposito, è stato testato un tool di reti neurali disponibile in Matlab® ma non sono stati ottenuti risultati apprezzabili. Quindi si è deciso di sviluppare interamente due algoritmi di training e test della rete sempre in ambiente Matlab®.

Particolare attenzione è stata prestata alla fase di addestramento della rete: è infatti di fondamentale importanza allenare la rete in maniera ottimale (Freen, 1990) al fine di ottenere ottimi risultati sia durante la fase di test della rete che nella fase di applicazione vera e propria in campagna.

Le ANN sono modelli matematici che rappresentano l'interconnessione tra elementi definiti neuroni e che seguono il comportamento delle reti neurali biologiche: sono costituite da n nodi, chiamati neuroni artificiali, connessi l'uno all'altro, che vengono raggruppati in layers. Il numero di layers può essere variabile ed è funzione del fenomeno che viene considerato: nel caso in esame, la rete neurale è stata costituita da un layer di input ed uno di output, sempre presenti in tutte le configurazioni di ANN, oltre ad un layer intermedio, detto layer "Hidden", ossia nascosto.

Ogni neurone comunica con uno o più neuroni del layer successivo tramite un collegamento pesato in maniera diretta. Tali pesi (indicati di solito con w_{ij}) rappresentano le informazioni che vengono utilizzate dalla rete per risolvere il problema; ogni rete ha un suo stato interno, chiamato "attivazione" o "livello di attività" che è funzione degli input ricevuti. Il primo layer riceve informazioni in input e le fornisce al layer successivo in maniera pesata tramite queste interconnessioni.

I pesi sono quindi le vere incognite del problema: per calcolarli è perciò necessario "allenare" la rete, il che significa che bisogna fornire in input una serie di dati i cui output sono noti. I neuroni processano gli input tramite alcune funzioni dette funzioni di trasferimento, note in bibliografia. Le principali che vengono utilizzate sono: la Hard Limit, la Linear e la Log Sigmoid (Figura 2).

Oltre alle funzioni di trasferimento, ogni neurone è caratterizzato da un valore di soglia: tale soglia rappresenta il valore minimo che dev'essere fornito in input affinché il neurone in questione venga attivato e quindi fornisca in output un risultato, grazie anche alla funzione di trasferimento.

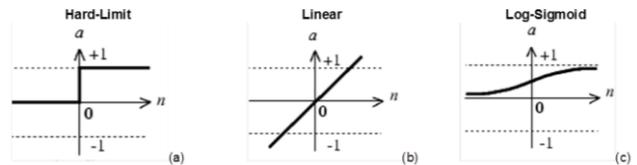


Figura 2. Principali tipologie di funzioni di trasferimento

Di solito tutti i neuroni del primo livello sono connessi con tutti i neuroni del livello successivo. Può però accadere che ci siano collegamenti anche tra neuroni dello stesso livello, cosa che però non accade per quanto viene presentato in questo lavoro.

Dopo la fase di addestramento, le performances della rete vengono testate fornendo un nuovo dataset, definito come "test set". Questo set di dati è costituito da valori in input ed output ignoti alla rete, ossia valori che non sono stati utilizzati per la fase di addestramento. Se i risultati ottenuti tramite la ANN sono prossimi ai valori reali, la rete viene considerata efficiente (Dabove, 2013).

Nel caso in esame all'ANN viene fornito in input un vettore di 3 righe ed una colonna che contiene solo i parametri disponibili all'utente in real-time, contenuti all'interno del messaggio NMEA. Questi tre parametri sono, per ogni epoca, i valori di HDOP (Horizontal Dilution Of Precision), la latenza della correzione e il numero di satelliti fissati dalla rete e visibili dal rover. Il dataset di output inerente l'addestramento è costituito, per ogni epoca, da un vettore booleano che contiene 1 se a quell'epoca l'ambiguità di fase del rover era fissata in maniera corretta e 0 in caso contrario. Il layer nascosto è composto da 10 neuroni. Come già descritto in studi precedenti (Dabove et al., 2013), anche in questo caso il dataset composto dai 20 giorni di soluzioni di posizionamento acquisiti è stato suddiviso nelle seguenti percentuali: 50% di dati per la fase di addestramento, 30% per la fase di validazione e 20% per la fase di testing.

Il controllo di un avvenuto FF viene eseguito simultaneamente in due modalità: verificando cosa accade lato software di rete e, allo stesso tempo, cosa sta visualizzando l'utente in campagna. I parametri per le analisi di qualità definiti come significativi al fine di identificare le ragioni di accadimento di un FF sono stati estesi per un periodo di circa 300 s (pari a 5 minuti) antecedente e successivo all'accadimento del FF stesso.

Ciò perché è stato verificato che questa finestra temporale è ampiamente sufficiente per capire quale sia il motivo di un errato fissaggio dell'ambiguità di fase.

4. GLI ESPERIMENTI EFFETTUATI

Nel presente lavoro sono stati considerati quattro differenti metodi di addestramento della ANN in funzione della tipologia di file di input (ogni file è composto da 3 giorni di osservazioni con un intervallo di acquisizione pari a 1 s) e del numero di neuroni considerati nell'hidden layer, come già descritto in Dabove et al. (2013), oltre che per le interdistanze tra le stazioni e le tipologie di ricevitori considerati.

Ciò è stato fatto al fine di verificare se è possibile generalizzare i risultati ottenuti tra una rete "comune" (interdistanze tra le stazioni permanenti di circa 30 km) con una a maglia più larga (circa 70 km, che rappresenta l'interdistanza tipica delle reti GNSS nazionali).

In sintesi, in questo lavoro è stata considerata una ANN avente le seguenti caratteristiche (Figura 3):

- 3 layers
- 10 neuroni nel layer intermedio
- funzioni di trasferimento: log-sigmoid (per il primo livello) e lineare (per il secondo livello)
- funzione di addestramento: Levenberg-Marquardt backpropagation algorithm.

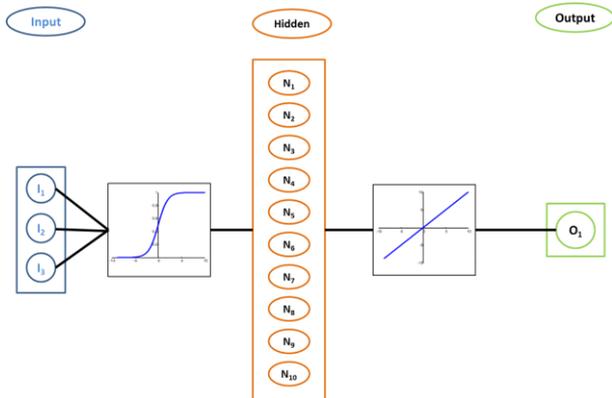


Figura 3. Schema della ANN considerata: in blu il layer di input, in arancione e verde rispettivamente l'hidden e l'output layers

Durante la fase di addestramento sono stati considerati circa 130 FF, i cui principali fattori scatenanti sono da ricondurre all'indice HDOP, alla latenza della correzione ed al numero di satelliti fissati dalla rete e visibili dal rover. Tuttavia, alcuni di questi non possono essere spiegati né basandosi solo sulle informazioni disponibili lato rover né se viene analizzato anche il report del software di rete (detto anche vettore di stato).

Analizzando tutti i 130 FF è possibile affermare che non esiste un parametro che causi più FF rispetto ad altri: se così fosse accaduto si sarebbe potuto mettere un filtro solo su un singolo parametro, senza dover sviluppare una rete neurale che è un processo abbastanza complesso.

Considerando ricevitori geodetici ed una rete con interdistanza tra le stazioni master pari a quella delle reti regionali (circa 30 km, Figura 1 – sinistra), è possibile affermare che la ANN dichiara circa il 20% dei FF come certi, mentre il restante 80% viene definito come “warning”, ossia come falsi fissaggi probabili.

Scendendo nel dettaglio, è possibile vedere in Figura 4 come, analizzando un generico FF che è avvenuto in un giorno qualsiasi, la ANN è in grado non solo di identificare il FF ma anche di predirlo con un anticipo di circa 5 s!

Infatti le barre verticali verdi e rosse rappresentano rispettivamente l'inizio e la fine del FF, mentre i punti verdi e blu rappresentano la decisione della ANN: i punti verdi rappresentano le epoche definite come epoche con fissaggio dell'ambiguità di fase corretto mentre i punti blu quelle dichiarate come “warning”, ossia come epoche in cui è possibile avere un falso fissaggio.

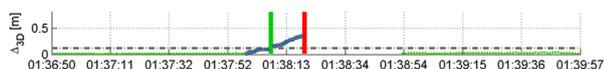


Figura 4. Esempio di predizione ed identificazione di un FF

Tramite l'utilizzo di un apposito programma sviluppato in Matlab®, è stato possibile analizzare tutte le epoche in cui la posizione stimata differisce di circa 20 cm (considerata come

soglia di precisione per l'accadimento di un FF) da quella di riferimento

È stato anche possibile creare una serie di statistiche inerenti non solo la qualità di posizionamento ma anche la possibilità di predire ed identificare un FF in real-time.

È importante sottolineare nuovamente che un FF è particolarmente dannoso per il posizionamento GNSS e quindi una sua predizione è decisamente importante ed innovativa. Tale predizione, nel caso in esame, consiste nell'indicare come probabile o certo l'accadimento di un FF per l'epoca successiva a quella di analisi: in questo contesto è preferibile re-inizializzare il fissaggio dell'ambiguità di fase piuttosto che rischiare un errato fissaggio che comporta errori anche metrici nel posizionamento NRTK.

5. ANALISI DEI RISULTATI

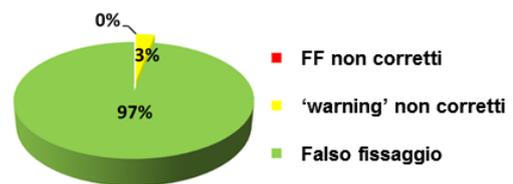
Come visibile dalla Figura 5, la ANN può essere definita efficiente poiché, considerando le correzioni MAC e VRS®, si ottengono rispettivamente il 3% e 4% di epoche in cui il falso fissaggio è definito come probabile (warning) anche se non accade, mentre non viene tralasciata nessuna segnalazione di falsi fissaggi accaduti realmente.

È quindi possibile affermare che la fase di addestramento della rete è stata eseguita correttamente e che questo strumento è decisamente utile per previsione di FF.

Va sottolineato che in questa fase sono stati considerati solo pochi parametri derivanti dal messaggio NMEA, tralasciando le informazioni derivabili dal software di rete che verranno utilizzate in futuro per migliorare ulteriormente le performances di predizione.

Considerando la rete presentante un'interdistanza media tra le stazioni di circa 70 km (Figura 1 - destra) sempre considerando come rover un ricevitore geodetico, i risultati sono abbastanza differenti: come è possibile vedere dalla Figura 6, il 66% dei FF è dovuto a problemi di latenza della correzione differenziale. In questo caso basta quindi applicare un valore di soglia che permetta di re-inizializzare i calcoli dell'ambiguità di fase se la latenza della correzione supera i 5 o 10 s.

Percentuale di errori
Correzione MAC



Percentuale di errori
Correzione VRS

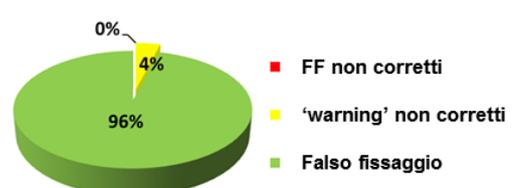


Figura 5. Errori di predizione espresso in percentuale considerando la correzione MAC (alto – 5a) e VRS (basso – 5b)

Nonostante ciò, rimane ancora un 23% di FF che sono errati dall'inizio ed un 21% di FF che avvengono senza apparenti spiegazioni. Considerando questi risultati, è possibile affermare che non ha senso implementare una ANN considerando questa tipologia di reti poiché i parametri di input utilizzati per reti aventi maglie di dimensioni classiche (circa 30 km) non sono significativi per reti aventi interdistanze tra le stazioni permanenti paragonabili a quelle nazionali.

Si ritiene particolarmente importante considerare in futuro anche i parametri di rete al fine di poter giustificare il restante 21% di FF che ad oggi sono inspiegabili.

Quindi in sintesi si può affermare che la ANN implementata è particolarmente utile per reti CORSs a scala regionale mentre non risulta essere altrettanto utile per reti aventi maglie di maggiori dimensioni. Per questa ragione si può quindi dire che il fattore principale che influenza il corretto fissaggio dell'ambiguità di fase, oltre ad essere l'accoppiata ricevitore/antenna, è la dimensione delle maglie della rete: una ANN sviluppata per reti con interdistanze tra le stazioni permanenti tipiche delle maglie regionali non permette la predizione di FF in reti con maglie di 70 km.

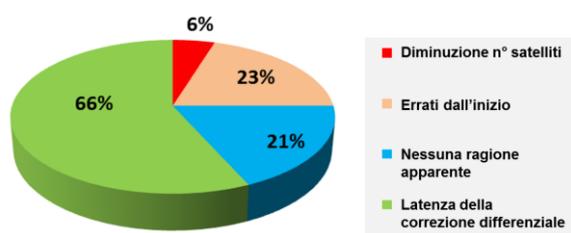


Figura 6. Percentuale di FF dovuti a differenti fattori

6. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

In questo lavoro è stato mostrato come non è sempre possibile identificare quale parametro influenzi l'accadimento di un FF.

È però tuttavia possibile affermare come, in accordo con quanto mostrato, esistano dei parametri che permettono al rover di identificare e predire la possibile presenza di un FF con un'elevata probabilità, quantomeno per reti aventi maglie paragonabili a quelle delle reti GNSS regionali italiane. Tali parametri possono essere riassunti in:

- latenza della correzione differenziale;
- la variazione dell'RMS delle tre coordinate stimate;
- l'indice HDOP;
- il numero di satelliti fissati dalla rete ed utilizzati dal rover.

Com'è noto, un FF è molto dannoso nel posizionamento GNSS e quindi è molto importante prevenirlo. Nel caso in esame, la previsione consiste nell'indicare come probabile o certo l'accadimento di un FF per l'epoca successiva a quella di analisi; è perciò preferibile re-inizializzare la stima del fissaggio dell'ambiguità rispetto ad ottenere un posizionamento con ambiguità fissata in maniera errata: in questo contesto, la predizione di un FF è molto utile anche se tale predizione definisce una determinata epoca anche solo come "warning".

Considerando reti con interdistanze tipiche tra le stazioni (30 km), i risultati ottenuti possono essere considerati molto buoni

per cui la ANN è utile per la predizione in maniera corretta dei FF. Ciò non può essere invece affermato se le distanze tra le stazioni master aumentano: in questo caso infatti il 66% dei FF è dovuto a problemi di latenza della correzione differenziale.

Va sottolineato che ad oggi sono stati considerati in input solo i parametri relativi al ricevitore rover mentre in seguito verranno considerati anche i parametri inerenti il software di rete, come i ritardi ionosferici e troposferici, anche al fine di giustificare tutti quei FF che ad oggi sembrano non avere spiegazione.

Inoltre va sottolineato anche che la ANN attualmente è stata addestrata e costruita per posizionamenti "stop & go" mentre per il futuro l'idea è quella di creare una ANN che, scelta una tipologia di ricevitore+antenna e di rilievo, permetta allo stesso tempo il controllo della qualità del posizionamento e la predizione dei falsi fissaggi.

In futuro tale metodologia verrà applicata anche ai ricevitori GNSS mass-market se utilizzati in modalità NRTK.

7. BIBLIOGRAFIA

Dabove P., Manzino A.M., 2013. Analysis of ambiguity false fixing within a GBAS system. In: *Global Navigation Satellite Systems – From Stellar to Satellite Navigation*, Ahmed H. M., InTech (USA), pp. 87-113.

Dabove P., 2013. Quality control of the kinematic positioning into GNSS networks. Doctoral thesis, Politecnico di Torino.

Euler H., Schaffrin B., 1991. On a measure for the discernibility between different ambiguity solutions in the static-kinematic GPS mode. *Proceedings of IAG Symposia no 107, kinematic systems in geodesy surveying, and remote sensing*.

Euler H., Goad C., 1992. On optimal filtering of GPS dual-frequency observations without orbit information. *Bull Geod* 65(2), pp. 130-143.

Fausett L., 1994. *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications*. Lavoisier.

Feng S., Ochieng W., Samson J., Tossaint M., Hernandez M., Juan J., Sanz J., Aragon A., Ramos P., Jofre M., 2012. Integrity monitoring for carrier phase ambiguities. *J Navig* 65(1), pp. 41-58.

Feng Y., Wang J., 2011. Computed success rates of various carrier phase integer estimation solutions and their comparison with statistical success rates. *J Geod* 85(2), pp. 93-103.

Frean M., 1990. The upstart algorithm: A method for constructing and training feedforward neural networks, Vol n°2 – chap. 2 of *Neural Computation*, pp. 198-209.

Frei E., Beutler G., 1990. Rapid static positioning based on the fast ambiguity resolution approach FARA: theory and first results. *Manuscr Geod* 15(4), pp. 325-356.

Han S., 1997. Quality control issues relating to instantaneous ambiguity resolution for real-time GPS kinematic positioning. *J Geod* 71(6), pp. 351-361.

Henkel P., Günther C., 2012. Reliable integer ambiguity resolution: multi-frequency code carrier linear combinations and statistical a priori knowledge of attitude. *Navigation* 59(1), pp. 61-75.

- Ji, S. Y., Chen, W., Ding, X. L., Chen, Y. Q., Zhao, C. M. and Hu, C. W., 2010. Ambiguity Validation with Combined Ratio Test and Ellipsoidal Integer Aperture Estimator. *J Geod*, 84(8), pp. 597–604.
- Lachapelle G., Alves P., Fortes L.P., Cannon M.E., Townsend B., 2000. DGPS RTK positioning using a reference network. *Proceedings of the 13th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 2000)*, Salt Lake City (UT-USA), September 2000.
- Li T., Wang J., 2014. Analysis of the upper bounds for the integer ambiguity validation statistics. *GPS solution*, 18, pp. 85–94.
- Liu H., Chen Z., Ye W., Wang H., 2014. GNSS carrier phase ambiguity resolution based on integrity restriction in ambiguity domain. *Advances in Space Research*, 53(8), pp. 1207–1218.
- O’Keefe K., Petovello M., Lachapelle G., Cannon M.E., 2006. Assessing probability of correct ambiguity resolution in the presence of time-correlated errors. *Navigation*, 53(4), pp. 269–282.
- Teunissen, P. J. G., 2003. A Carrier Phase Ambiguity Estimator with Easy-to-Evaluate Fail-Rate. *Artificial Satellites*, 38(3), pp. 89–96.
- Teunissen, P. J. G., 2009. The GNSS Ambiguity Ratio-Test Revisited: A Better Way of Using It. *Survey Review*, 41(312), pp. 138–151.
- Tiberius C., de Jonge P., 1995. Fast positioning using the LAMBDA method. *Proceedings of 4th international conference differential satellite systems*, Bergen, Norway, 24–28 April.
- Verhagen, S., 2004. Integer Ambiguity Validation: An Open Problem?. *GPS Solutions*, 8(1), pp. 36–43.
- Verhagen S., 2005. The GNSS integer ambiguities: estimation and validation. PhD thesis, *Publications on Geodesy 58 Netherland Geodetic Commission*.
- Verhagen S., Teunissen P., 2006a. New global navigation satellite system ambiguity resolution method compared to existing approaches. *J Guid Control Dyn*, 29(4), pp. 981–991.
- Verhagen S., Teunissen P., 2006b. On the probability density function of the GNSS ambiguity residuals. *GPS Solut* 10, pp. 21–28.
- Wang, J., 2000. Stochastic Modeling for RTK GPS/Glonass Positioning. *Journal of the US Institute of Navigation*, 46(4), pp. 297–305.
- Wang J., Stewart M., Tsakiri M., 1998. A discrimination test procedure for ambiguity resolution on-the-fly. *J Geod*, 72(11), pp. 644–653.
- Wang J., Stewart M., Tsakiri M., 2000. A comparative study of the integer ambiguity validation procedures. *Earth Planets Space*, 52(10), pp. 813–817.
- Wübbena G., Schmitz M., Bagge A., 2004. GNSMART Irregularity Readings for Distance Dependent Errors. *Geo++ White Paper*.