

IL NUOVO CODICE GPS L2C: ANALISI DI QUALITÀ DEL SEGNALE E DEL POSIZIONAMENTO

Mattia DE AGOSTINO, Ambrogio M. MANZINO, Marco PIRAS, Chiara PORPORATO

(*) Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie
Corso Duca degli Abruzzi, 24 - 10129 Torino (Italy), tel. 011-0907675, fax. 011-0907699
(mattia.deagostino, ambrogio.manzino, marco.piras, chiara.porporato)@polito.it

Riassunto

Il lavoro prende le mosse dall'intenzione di valutare quale sia l'attuale situazione dell'ammodernamento GPS, ed in particolare del nuovo codice L2C e quali vantaggi si possano ottenere dall'introduzione di quest'ultimo segnale. A tal fine, è stata compiuta un'analisi sui sei satelliti del Blocco IIR-M che ad oggi già trasmettono il nuovo codice civile in aggiunta al codice P2(Y), focalizzando l'attenzione sulla qualità del segnale trasmesso e sulla variazione di precisione nel posizionamento ad una via.

Abstract

The paper make an analysis of the status of GPS modernisation, and in particular of the new civil code L2C and of what advantages the introduction of this code could provide. To this purpose, an analysis of the six satellites of Block IIR-M that today already transmit the L2C code in addition to code P2(Y) was carried out, paying particular attention on the quality of transmitted signal and on the variation of one-way position accuracy.

Introduzione: la modernizzazione della costellazione GPS

Negli ultimi anni, gli Stati Uniti hanno avviato un programma di ammodernamento della costellazione satellitare GPS, descritto all'interno di (IS-GPS-200, 2004), con l'obiettivo principale di fornire un miglioramento del servizio di posizionamento per l'utenza civile. Questo programma di ammodernamento prevede, nella sua fase iniziale, il lancio di due nuovi blocchi di satelliti GPS: il blocco IIR-M ed il blocco IIF, aventi l'obiettivo di sostituire in maniera graduale i blocchi ora in orbita. A questi satelliti farà seguito, in una seconda fase, un nuovo blocco di satelliti, denominato blocco III, a completare la procedura di modernizzazione della costellazione satellitare americana. Le principali novità introdotte da questa modernizzazione possono essere sintetizzate in quattro punti principali:

- **Codice civile L2C** (blocco IIR-M): si tratta di un nuovo codice, centrato sulla frequenza L2, caratterizzato da una lunghezza del chip dieci volte maggiore rispetto a quella del codice C/A (1.023 μ s), e da una minore rumorosità.
- **Messaggio navigazionale CNAV** (blocco IIF): ovvero, un messaggio navigazionale molto più leggero del precedente, ma in grado di trasmettere molte più informazioni, come ad esempio i *bias* tra i diversi codici C/A, P1, P2, L2C.
- **Terza frequenza L5** (blocco IIF): nelle previsioni, dovrebbe trattarsi di una frequenza dedicata esclusivamente a scopi civili, contenente un codice civile dieci volte più lungo del codice C/A. Inoltre, grazie alla presenza di una portante di fase ammodernata rispetto a quelle attuali, si prevede un incremento della potenza del segnale.
- **Codice civile L1C** (blocco III): secondo le previsioni, si tratterà di un nuovo codice civile (il quarto!) che andrà ad integrare, e non sostituire, il già esistente codice C/A.

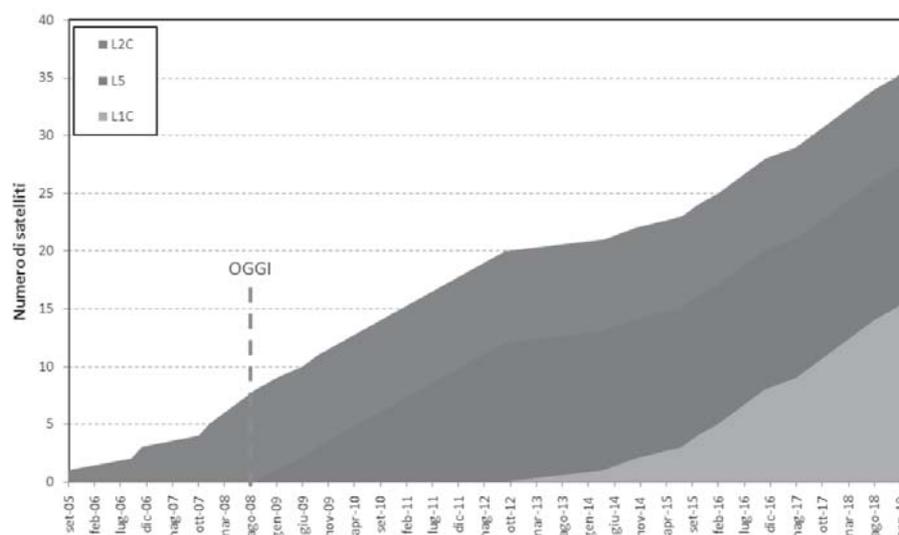


Figura 1 – Previsione sulla disponibilità dei nuovi codici nei prossimi anni

Come risulta dalla Figura 1, allo stato attuale risultano in orbita sei satelliti, facenti parte del “Block IIR-M”, in grado di trasmettere il nuovo codice civile L2C. I dettagli relativi a questi satelliti e alle date di lancio e di inizio attività sono riportate nella Tabella seguente (Fonte: United States Naval Observatory (USNO) – dati aggiornati all’11 luglio 2008).

PRN (SVN)	Lanciato il:	Operativo dal:
17 (53)	26 settembre 2005	16 dicembre 2005
31 (52)	25 settembre 2006	12 ottobre 2006
12 (58)	17 novembre 2006	13 dicembre 2006
15 (55)	17 ottobre 2007	31 ottobre 2007
29 (57)	21 dicembre 2007	02 gennaio 2008
7 (48)	15 marzo 2008	24 marzo 2008

Figura 2 – Satelliti del Blocco IIR-M in orbita

La comparsa nell’ultimo biennio di questo nuovo codice ha ovviamente messo in moto l’interesse del mondo scientifico e commerciale che orbita intorno al posizionamento satellitare, e dunque le maggiori case produttrici di ricevitori si sono attrezzate per rendere disponibile ai loro utenti le informazioni di questo codice. Ad oggi, le maggiori case produttrici sono già in grado di riconoscere e salvare nei loro formati proprietari le osservazioni L2C. Inoltre, lo sviluppo di questi ricevitori è stato accompagnato “passo a passo” da alcune importanti comunità scientifiche internazionali, che hanno intrapreso studi relativi all’analisi di qualità del nuovo codice civile disponibile sulla seconda frequenza. Tra questi, vengono qui ricordati gli studi condotti da (Sükeová et al., 2007), da (Simsy et al., 2006) e da (Al-Fanek et al., 2007), che hanno analizzato la qualità del segnale registrato da ricevitori Trimble, Septentrio e NovAtel.

Il grande interesse per questo nuovo codice civile non è solo motivato dall’essere comparso prima rispetto agli altri segnali, ma anche dal fatto che, come viene evidenziato all’interno dello studio preliminare condotto da (Fontana et al., 2001), il codice L2C presenta alcune caratteristiche, legate soprattutto alla maggior velocità ed accuratezza nel riconoscimento del codice, alla flessibilità di impiego, al minor impiego di potenza, che ne faranno, secondo le previsioni, il codice GPS più utilizzato.

Le analisi che seguono hanno lo scopo di verificare le caratteristiche geometriche, di rumorosità, di tracciabilità e di precisione nel posizionamento del codice L2C, tramite lo studio del segnale

acquisito dalla stazione permanente di TOR1 (ricevitore Topcon NET-G3) della rete EUREF e dalla stazione permanente appartenente alla rete test IGS di GANP in Ganovce (Slovak Hydrometeorological Institute), Slovacchia (ricevitore Trimble NetR5).

Analisi del rapporto segnale-rumore (SNR)

Il rapporto segnale rumore (SNR – Signal-to-Noise Ratio) è un indicatore della qualità del segnale trasmesso su ciascuna frequenza da ciascun satellite, e può quindi essere impiegato per valutare l'eventuale miglioramento del segnale sulla banda L2 dovuto all'introduzione del codice L2C. Nelle figure seguenti si riporta il confronto dell'andamento del SNR (di seguito chiamato anche C/N_0) sulle bande L1 ed L2 calcolati utilizzando i dati provenienti dalla stazione di TOR1 relativi alla data del 26 giugno 2008. In particolare di seguito si riportano, a titolo di esempio, due grafici relativi al confronto di tale rapporto sulle due frequenze, per un satellite del blocco IIR-M (il PRN07) in grado di trasmettere il nuovo codice civile sulla banda L2 e per un satellite del vecchio blocco (PRN14) in cui viene trasmesso il codice P(Y).

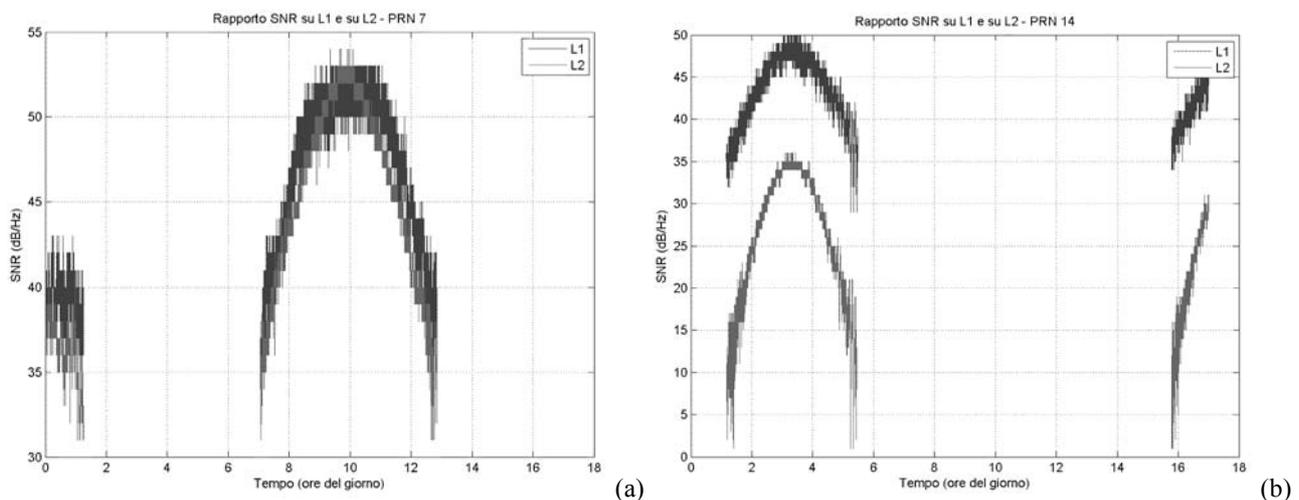


Figura 3 - Rapporto SNR sulle due frequenze per il satellite PRN07 (a) e PRN14 (b)

L'analisi dei grafici riportati evidenzia un sensibile incremento del rapporto SNR per i satelliti del Blocco IIR-M dotati del nuovo codice L2C, quantificabile all'incirca in 4-6 dB/Hz alla massima elevazione del satellite, e di oltre 10-12 dB/Hz per basse elevazioni. Come è possibile notare dal confronto diretto tra le due frequenze, il rapporto SNR sulla banda L2 dei nuovi satelliti risulta essere paragonabile con i valori nella banda L1 (circa 50-55 dB/Hz allo zenith).

Analisi del multipath del segnale

Il *multipath* di codice può essere calcolato mediante una combinazione lineare dello *pseudorange* di codice e delle due frequenze, come mostrato di seguito:

$$\begin{aligned} MP_1 &= P_1 - 4.0915 \cdot \Phi_1 + 3.0915 \cdot \Phi_2 \\ MP_2 &= P_2 - 5.0915 \cdot \Phi_1 + 4.0915 \cdot \Phi_2 \end{aligned} \quad [1]$$

Dove MP_1 ed MP_2 sono i due *multipath* per le due frequenze L1 ed L2, mentre P_i e Φ_i sono le osservabili di *pseudorange* e di fase misurate per la L1 ($i = 1$) e per la L2 ($i = 2$). La variabile MP, oltre al *multipath* vero e proprio, contiene anche il rumore di codice e di fase. Un'analisi più approfondita dell'equazione [1] evidenzia la dipendenza del *multipath* (o, meglio, della sua rumorosità) dall'elevazione del satellite (all'interno delle osservabili di codice e di fase). Al fine di produrre un'analisi della variabile meno sensibile al rumore per basse elevazioni, si è introdotto un operatore di media mobile dei dati, adottando una finestra temporale di 15 minuti (900 secondi), ed ottenendo il

grafico riportato nella figura seguente, in cui vengono riportati i valori di *multipath* + *noise* calcolati utilizzando rispettivamente i codici C/A, L2C ed il codice P(Y) sulla seconda frequenza, e relativi ai dati della stazione TOR1 della giornata dell'8 aprile 2008 per il satellite PRN15.

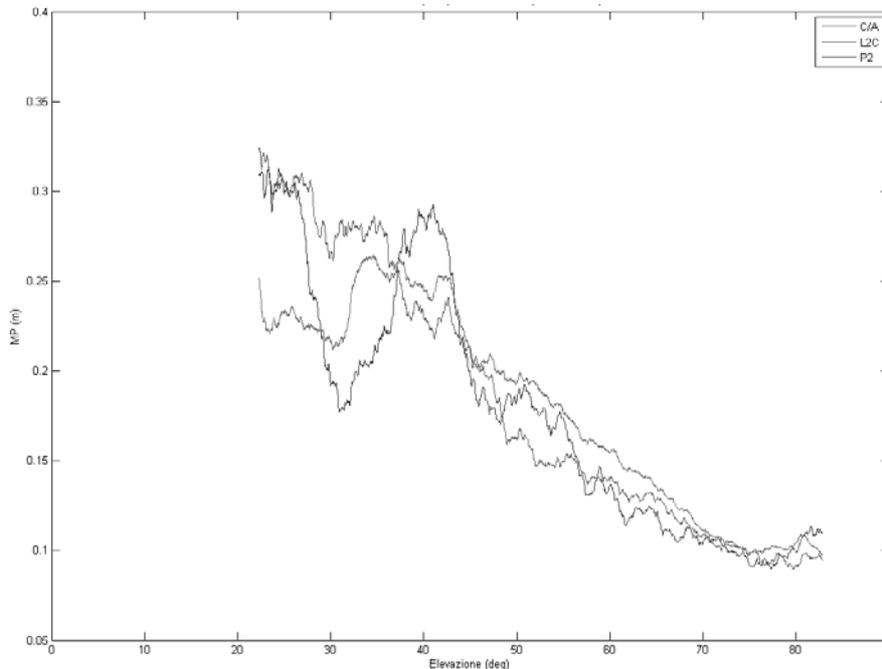


Figura 4 – Multipath (media mobile con una finestra di 15 minuti) rappresentato in funzione dell'elevazione e calcolato impiegando i codici C/A, L2C e P2(Y)

Come si può vedere dalla figura riportata, il valore di *multipath* relativo al codice L2C (in verde) presenta un decadimento costante verso il basso in funzione dell'elevazione, passando da valori superiori rispetto a quelli calcolabili con i due codici “tradizionali” (C/A e P2) a valori inferiori in corrispondenza della massima elevazione del satellite (a circa 84°).

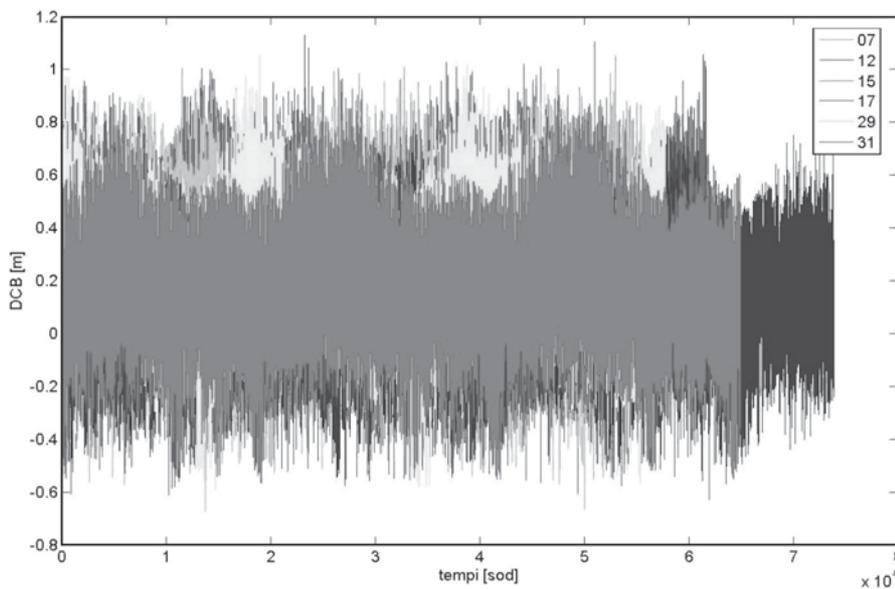
Bias di codice L2C – P2(Y)

Come mostrato da diversi Autori, ed in particolare da (Simsky et al., 2006), lo pseudorange modulato con la L2C risulta avere una lunghezza differente rispetto allo pseudorange ottenibile con la P2(Y). Questo “ritardo di gruppo” comprende sia una parte dipendente dal satellite sia una parte relativa al ricevitore stesso che acquisisce il segnale. Variazioni, sebbene poco rilevanti, possono sussistere anche tra ricevitori della stessa marca, come mostrato da tutti e tre gli Autori mediante l'impiego di un'unica antenna “splittata” su due ricevitori dello stesso modello. Si tenga inoltre presente che questi *bias* (quelli dipendenti dai satelliti) verranno in futuro trasmessi direttamente all'interno delle nuove effemeridi CNAV, in linea con il programma di modernizzazione della costellazione GPS.

Per quanto concerne il codice L2C, il *Differential Code Bias* rappresenta la differenza, pesata in funzione dell'elevazione, tra il valore di *pseudorange* definito con L2C e quello determinato usando il P2(Y).

Per l'analisi di tali biasessi sono presi in considerazione 72 ore di dati relativi alla stazione TOR1, dal 7/04/2008 al 9/04/2008. I satelliti analizzati sono quelli del Blocco IIR-M, dove è possibile disporre del codice L2C, vale a dire PRN7, PRN12, PRN15, PRN17, PRN29, PRN31.

Sono stati esclusi i satelliti relativamente bassi ($\alpha < 5^\circ$), per evitare che il rumore della troposfera potesse influenzare la stima del DCB. Inoltre, sono stati rimossi i valori di DCB superiori a 1.5 metri, considerando questo valore come soglia ragionevole per filtrare eventuale rumore o outliers. Il risultato che si ottiene per i sei satelliti porta a valori di alcuni decimetri ed a una discreta significatività:



Satellite (PRN)	DCB (m)	RMS (m)
07	0.239	0.165
12	0.434	0.186
15	0.402	0.178
17	0.274	0.162
29	0.416	0.182
31	0.343	0.182

Figura 5 - Andamento e valori del DCB (ritardo del satellite e del ricevitore) per ogni satellite

Posizionamento “ad una via”

Per posizionamento “ad una via” o “posizionamento puntuale di precisione” (PPP), si intende il posizionamento assoluto eseguito senza tecniche differenziali, con l’uso dei dati grezzi di un solo ricevitore (codici, fasi ed eventualmente misure Doppler).

Se si scrivono le equazioni di codice e di fase relative ad un ricevitore r ed ad un singolo satellite s , espresse in unità metriche ed in forma matriciale si ottiene:

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \Phi_1 \\ \Phi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & \alpha & 0 & 0 \\ 1 & -1 & \lambda_1 & 0 \\ 1 & -\alpha & 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \rho + Tr + c(dt - dT) \\ I \\ N_1 \\ N_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} m_{P1} + e_1 \\ m_{P2} + e_2 \\ m_{\Phi1} + e_3 \\ m_{\Phi2} + e_4 \end{pmatrix} \quad [2]$$

Dove il termine ρ indica la distanza ricevitore-satellite, dt e dT sono gli errori di orologio del satellite e del ricevitore, Tr rappresenta il ritardo troposferico, comune a codici e fasi, I quello ionosferico, N indica il valore dell’ambiguità iniziale, m_p ed m_ϕ gli errori di *multipath* di codice e di fase, ϵ_p ed ϵ_ϕ gli errori accidentali, ed α è il rapporto al quadrato delle due frequenze.

Osservando il sistema così scritto, si nota che vengono isolate delle quantità (le ambiguità di fase N_i) che, in assenza di salti di fase, sono ad ogni epoca costanti. Pertanto, è possibile effettuare il calcolo del vettore degli stati, ad esempio introducendo il sistema all’interno di un filtro di Kalman, in maniera da ottenere un valore filtrato che converge più o meno rapidamente ad un valore costante (non necessariamente ad un numero intero), corrispondente al valore di ambiguità fissata.

Il posizionamento “ad una via” descritto è stato impiegato per stimare il valore dell’ambiguità di fase sia sulla frequenza L1 che sulla frequenza L2, in maniera da valutare l’eventuale effetto che il nuovo codice L2C presenta in termini di velocità di fissaggio dell’ambiguità.

In questo caso, i dati grezzi impiegati sono quelli della stazione GANP della rete test L2C dell’IGS, con campionamento a 30 secondi, relativi alla giornata del 6 gennaio 2008. In particolare, i risultati sono relativi al posizionamento con il satellite 29, che presentava la finestra di osservazione più lunga).

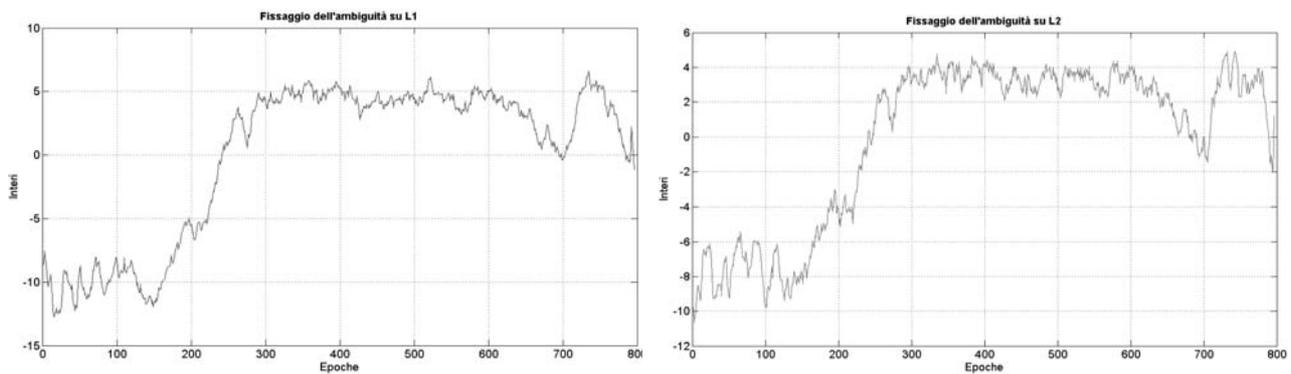


Figura 6 - Ambiguità filtrata (variazione rispetto alla media) su L1 (sinistra) e su L2 (destra)

L'andamento del valore dell'ambiguità riportato nei grafici precedenti mostra un comportamento molto simile nelle due frequenze per quanto concerne il fissaggio dell'ambiguità: dopo circa 300 epoche, infatti, si arriva ad una stabilizzazione del valore finale. Tale risultato è particolarmente interessante, se si pensa alla minore precisione che attualmente ha il codice P(Y) sulla banda L2 per la maggior parte dei satelliti.

Un'analisi più approfondita dei valori ottenuti mostra, inoltre, una rumorosità dei valori sulla L2 (ovvero un'oscillazione rispetto al valore medio) addirittura inferiore rispetto a quella presente sull'L1.

Conclusioni

Le analisi effettuate avevano la finalità di verificare la qualità del codice L2C, attraverso lo studio diretto del segnale ricevuto dai nuovi ricevitori. Particolare attenzione è stata posta alle caratteristiche geometriche, di rumorosità, di tracciabilità e di posizionamento del nuovo codice, in rapporto con il codice P2(Y) già esistente sulla seconda frequenza e con il codice civile C/A presente sulla prima frequenza. L'analisi del rapporto SNR evidenzia una riduzione della rumorosità del segnale, quantificabile all'incirca in 4-6 dB/Hz alla massima elevazione del satellite, e di oltre 10-12 dB/Hz per basse elevazioni, portando tale rapporto, di fatto, a valori confrontabili con quelli del codice C/A (circa 50 dB/Hz allo zenith). Le successive analisi condotte sul *multipath* e sul posizionamento ad una via confermano tale osservazione. Inoltre, lo studio dei *bias* tra i due codici e dell'andamento dell'ambiguità di fase sulle due frequenze hanno consentito di evidenziare la riduzione di variabilità rispetto al valore medio dell'ambiguità di fase anche di due o tre cicli, soprattutto durante le epoche iniziali del posizionamento.

Tutte le osservazioni di cui sopra rappresentano un incoraggiante preludio alla qualità del posizionamento geometrico da effettuarsi utilizzando il codice L2C, non appena vi sarà la presenza del numero necessario di satelliti in una finestra temporale sufficientemente lunga.

Bibliografia

- Al-Fanek O., Skone S., Lachapelle G., Fenton P. (2007), "Evaluation of L2C Observations and Limitations", *Atti ION GNSS 2007*, Fort Worth (TX), 25-28 Settembre 2007.
- Fontana R. D., Cheung W., Novak P. M. e Stansell T. A. (2001), "The New L2 Civil Signal", *Atti ION GNSS 2001*, Salt Lake City, Utah, 11-14 Settembre 2001.
- IS-GPS-200 (2004), *Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces*, a cura del Navstar GPS Joint Program Office, Revision D, 7 Dicembre 2004.
- Simsky A., Sleewaegen J.M., Nemry P., Van Hees J. (2006), "Signal performance and measurement noise assessment of the first L2C signal-in-space", *Atti dell' ENC 2006*, Manchester, UK, 7-10 Maggio 2006.
- Sükeová L., Santos M.C., Langley R.B., Leandro R. F. (2007), *A preliminary report on L2C Data Collection and Analysis using Trimble R7 GPS Receiver*, 20 Gennaio 2007.