

## COPERTURA DELLA COSTELLAZIONE QZSS (Quasi-Zenith Satellite System)

Antonio ANGRISANO (\*), Armando PACIFICO (\*), Mario VULTAGGIO (\*)

(\*) Università degli studi di Napoli “ Parthenope”, Via Acton 38, 80133- Napoli, Tel. +39 081 5475231  
E-mail: [antandale@hotmail.com](mailto:antandale@hotmail.com) , [armando.pacifico@uniparthenope.it](mailto:armando.pacifico@uniparthenope.it) , [mario.vultaggio@uniparthenope.it](mailto:mario.vultaggio@uniparthenope.it)

### Riassunto

Questo lavoro ha come obiettivo lo studio della copertura della costellazione QZSS, un sistema satellitare concepito dall'agenzia spaziale giapponese come *augmentation* del sistema GPS, allo scopo di migliorarne le prestazioni soprattutto in zone fortemente urbanizzate e quindi caratterizzate da “canyon urbani”. In tali zone molti segnali provenienti da satelliti GPS sono bloccati dagli edifici e non possono essere utilizzati dai ricevitori GPS, causando spesso cattive geometrie di osservazione, cui corrispondono posizionamenti imprecisi o addirittura impossibili. I satelliti della costellazione QZSS, grazie alle proprie caratteristiche orbitali, si trovano per molte ore al di sopra delle zone servite ad alti angoli di elevazione e per questo forniscono una valida soluzione al problema del mascheramento urbano.

In questo studio è stata effettuata una simulazione al computer, per verificare il miglioramento della copertura GPS sul Giappone in caso di integrazione con i satelliti QZSS, confermandone l'utilità.

Un simile miglioramento di copertura si può ottenere, vista la natura quasi-simmetrica della costellazione GPS, in qualunque regione della terra cambiando il meridiano di riferimento delle tracce QZSS; è stata dunque fatta una stessa simulazione anche per l'Italia, andando maggiormente nel dettaglio con l'utilizzo di un modello plano-altimetrico di una zona della città di Napoli.

### Abstract

*The objective of this work is the study of the QZSS constellation coverage; QZSS is a satellite system planned by Japan space agency as a GPS augmentation, to improve performances above all in zones with high urbanization, characterized by the so-called “urban canyon”. In these zones a lot of GPS signals are blocked by buildings and they can't be used by GPS receivers, so there are often bad satellite observation geometries with no precise or even impossible positioning. QZSS satellites, because their orbital parameters, stay for a lot of hours in a day above the served areas with great elevation angles and so they give a good solution to the blocking problem in the towns.*

*In this analysis to verify the improving of GPS coverage on Japan territory with QZSS satellites, it's been made a computer simulation, which confirm the QZSS usefulness.*

*Such coverage improvement could be obtained in every place of earth, because of quasi-symmetry of GPS constellation, changing the reference meridian of QZSS ground tracks; so it's been made the same simulation for Italy too, with more details obtained using a 3D model of an area of the centre of Naples.*

### 1. Introduzione

Le grandi città del ventunesimo secolo sono caratterizzate da una grande urbanizzazione, che tende a svilupparsi oltre che in estensione anche in senso verticale; quindi le moderne città risultano costituite da edifici molto alti, che formano i cosiddetti “*canyon urbani*”; queste zone risultano piuttosto critiche per la propagazione elettromagnetica ed in particolar modo complicano la

navigazione satellitare, in quanto vengono schermati molti segnali provenienti dai satelliti rendendo imprecisa o inattuabile la navigazione. Si potrebbe ottenere un maggior numero di satelliti utili, accettando gli errori dovuti al *multipath*, ma anche in questo caso a discapito della precisione del posizionamento urbano, necessaria in casi di interventi di emergenza (ad esempio della protezione civile).

Una possibile soluzione può essere l'utilizzo di satelliti a supporto delle costellazioni esistenti (soprattutto il GPS) con orbite molto eccentriche, opportunamente progettate per sorvolare le aree metropolitane in prossimità dello zenit in modo continuo.

Su questa idea si fonda il progetto del sistema QZSS e questo lavoro è essenzialmente un'analisi della sua costellazione, al fine di accertarne l'efficacia; tale studio è effettuato attraverso un opportuno software di simulazione sviluppato in matlab, con cui sono state esaminate dapprima le caratteristiche salienti della costellazione (tracce al suolo, altezze, sky-plot) e poi la sua integrazione con i satelliti GPS (copertura della costellazione GPS+QZSS) in presenza di canyon urbani.

## 2. Il sistema QZSS

Il sistema di navigazione QZSS (*Quasi-Zenith Satellite System*) è un progetto nato dalla collaborazione tra l'agenzia spaziale giapponese (JAXA) e un consorzio di industrie nipponiche (Mitsubishi, NEC, Hitachi ed altre), e fa parte del più vasto programma spaziale JRANS (*Japanese Regional Advanced Navigation Satellite*), che prevede il lancio di 7 satelliti, di cui 6 in orbite HEO e un geostazionario a copertura dell'Asia orientale e dell'Oceania.

Il sistema QZSS, non ancora operativo, sarà costituito da alcune stazioni a terra, distribuite principalmente tra Giappone e Australia, e da un segmento spaziale composto di soli tre satelliti, che saranno messi in orbita tra il 2008 e il 2009.

Il sistema QZSS è un *augmentation* del sistema GPS, con cui avrà una completa interoperabilità e risponde all'esigenza di migliorare la copertura offerta dai satelliti GPS nelle zone più urbanizzate del Giappone; tali zone sono infatti caratterizzate da edifici molto alti che bloccano i segnali provenienti da satelliti poco elevati, dando luogo a geometrie di osservazione spesso non adeguate (canyon urbani).

Il progetto prevede che i satelliti si avvicinino in modo che almeno uno di essi sorvoli sempre il Giappone e che da tale regione sia visibile in una zona del cielo prossima allo Zenit, in virtù di orbite molto ellittiche (HEO, High Elliptical Orbit) che producono tracce al suolo coincidenti.

I 3 satelliti QZSS occupano 3 orbite identiche, di periodo orbitale pari a circa un giorno siderale, i cui nodi ascendenti si trovano a 120° l'uno dall'altro e con una inclinazione di circa 45°; i satelliti sono opportunamente sfasati tra loro di circa 8 ore, in modo da avere la stessa traccia al suolo a forma di "8" centrata sul meridiano 135°E (fig. 1). Le orbite sono orientate in modo da avere l'apogeo coincidente con il vertice, a sua volta in corrispondenza con la zona di interesse, che viene sorvolata dunque durante il tratto orbitale più lento a grandi angoli di elevazione.

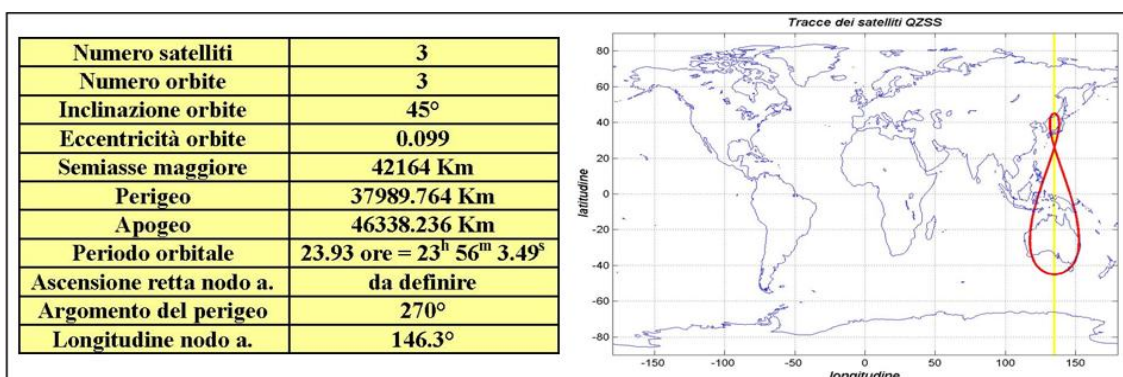


Figura 1 – Parametri orbitali e traccia a terra dei satelliti della costellazione QZSS

Considerando un osservatore posto a Tokyo di coordinate geografiche  $\varphi = 35^{\circ}41'N$ ,  $\lambda = 139^{\circ}46'E$ , si può osservare (fig. 2) dall'andamento delle altezze dei 3 satelliti QZSS in una giornata e dallo sky-plot relativo ad una epoca fissata, che almeno un satellite è sempre visibile ad un'elevazione superiore a  $80^{\circ}$  e per alcune ore 2 satelliti sono visibili contemporaneamente ad elevazioni maggiori di  $70^{\circ}$ ; veicoli spaziali con altezze di  $70^{\circ}$ - $80^{\circ}$  sono normalmente visibili anche in caso di *canyon* urbani.

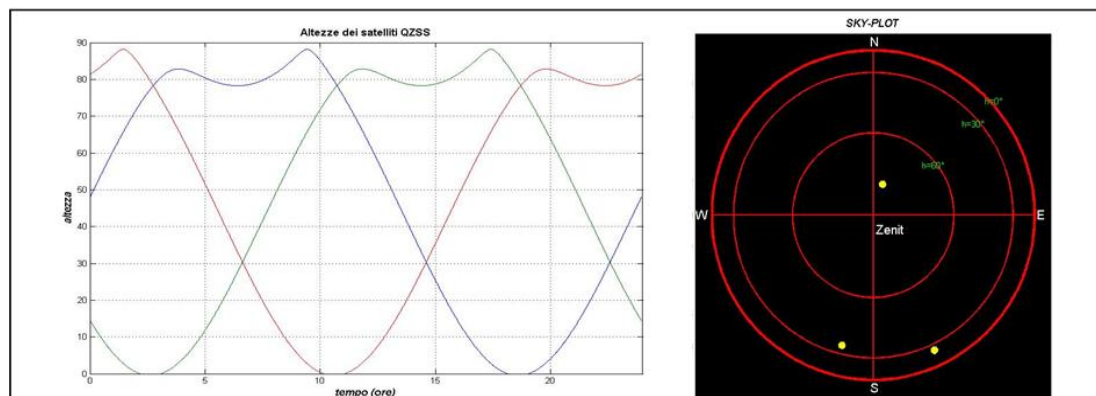


Figura 2 – Andamento delle altezze in 24 ore e sky-plot in un dato istante dei satelliti della costellazione QZSS per un osservatore posto a Tokyo

### 3. Copertura della costellazione GPS+QZSS

La copertura della costellazione GPS+QZSS è stata analizzata globalmente, cioè sono stati considerati osservatori distribuiti uniformemente su tutto il globo spaziatosi l'un l'altro di  $5^{\circ}$  in latitudine e longitudine, e sia dal punto quantitativo che qualitativo: infatti sono stati considerati come parametri rappresentativi della bontà della copertura il numero di satelliti visibili e il GDOP (*Geometric Dilution Of Precision*), che quantifica il contributo geometrico della configurazione satellitare alla precisione del posizionamento.

La simulazione effettuata attraverso il software sviluppato utilizza in input effemeridi reali dei satelliti GPS, scaricati dal sito internet del NGS (*National Geodetic Survey*) degli USA, relative al giorno 20 Giugno 2007; per la costellazione QZSS sono usate effemeridi verosimili aderenti ai parametri di progetto, con l'ascensione retta di una delle tre orbite ricavata imponendo l'epoca di passaggio del satellite al nodo ascendente (ore 00:00 del 05/10/2006) ad una longitudine di  $146^{\circ}.3$  (le altre 2 ascensioni rette si ottengono sommando alla prima  $120^{\circ}$  e  $240^{\circ}$ ).

Sono stati testati vari angoli di mascheramento ( $5^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ ) ed è stato rilevato che l'incidenza come *augmentation* GPS della costellazione QZSS aumenta con l'entità del mascheramento: per piccoli *mask angle* il miglioramento della qualità della copertura (GDOP) con QZSS è trascurabile, mentre diventa determinante per grandi angoli.

Infatti per *mask angle* di  $40^{\circ}$  (fig. 3), che approssima bene la situazione in un canyon urbano, si osserva una copertura della costellazione GPS+QZSS nettamente migliore rispetto al solo GPS per la zona centrata sul meridiano  $135^{\circ}E$ : per molte di queste aree infatti con il solo GPS non è possibile il posizionamento per carenza di SV visibili o si hanno geometrie di osservazioni che consentono solo posizionamenti imprecisi (zone bianche nel grafico GPS/GDOP), mentre con i satelliti GPS, integrati dai QZSS queste aree risultano meglio servite.

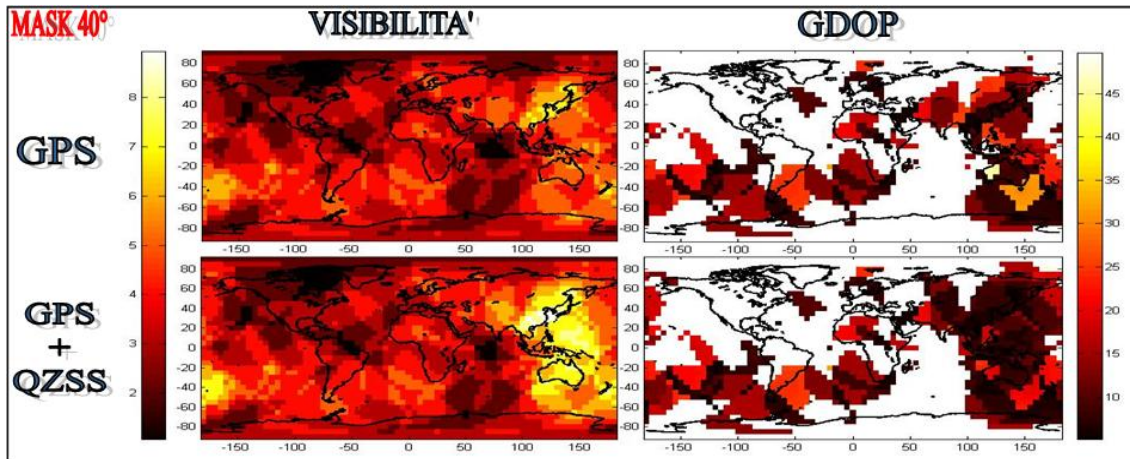


Figura 3 – Visibilità e GDOP delle costellazioni GPS e GPS+QZSS con mask angle 40° (20/06/2007, ore 06:00)

#### 4. QZSS: Possibili utilizzi

Il sistema satellitare QZSS è un progetto nato per risolvere il problema della navigazione urbana nelle grandi città giapponesi, caratterizzate notoriamente da canyon urbani, ma la stessa situazione problematica si presenta in tutte le città più sviluppate, per cui vista la natura quasi-simmetrica della costellazione GPS si può pensare di ottenere miglioramenti di copertura in qualunque regione della terra cambiando opportunamente il meridiano di riferimento delle tracce QZSS.

Si è scelto di verificare il miglioramento di copertura considerando una costellazione QZSS centrata sul meridiano 15°E, il meridiano centrale del fuso est italiano; rispetto ai parametri di progetto, in questo caso cambiano solo la longitudine del nodo ascendente e, a parità di epoca di passaggio al nodo, la sua ascensione retta (fig. 4).

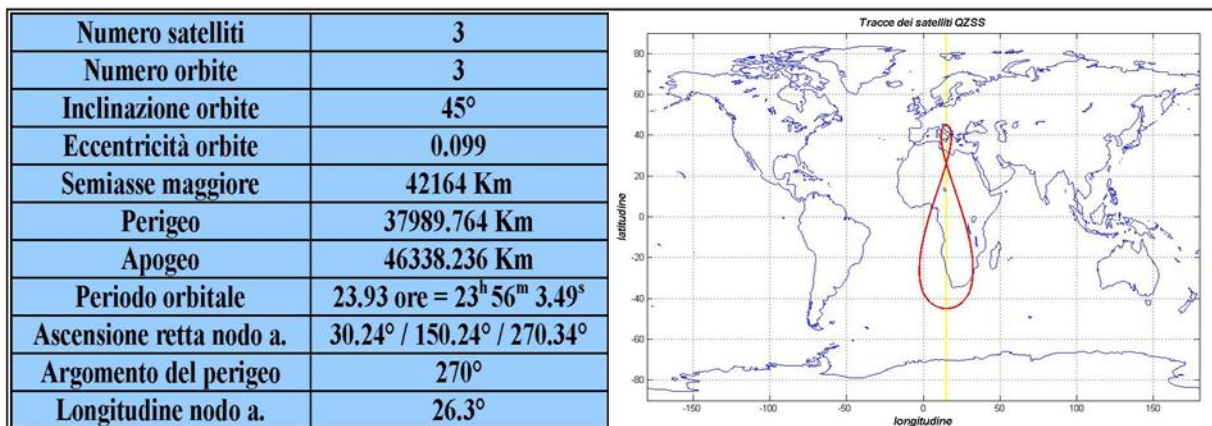


Figura 4 – Parametri orbitali e traccia a terra dei satelliti della costellazione QZSS, centrata sul meridiano 15°E

Come era prevedibile la presenza dei 3 satelliti QZSS a integrare quelli GPS comporta un aumento del numero satelliti visibili (1-2 SV visibili in più) intorno al meridiano centrale e anche in zone molto distanti (solitamente 1 SV in più) a causa delle quote elevate; il risultato più significativo è comunque la conferma dell'incremento della qualità della copertura nella zona servita (fig. 5) ad elevati angoli di mascheramento.

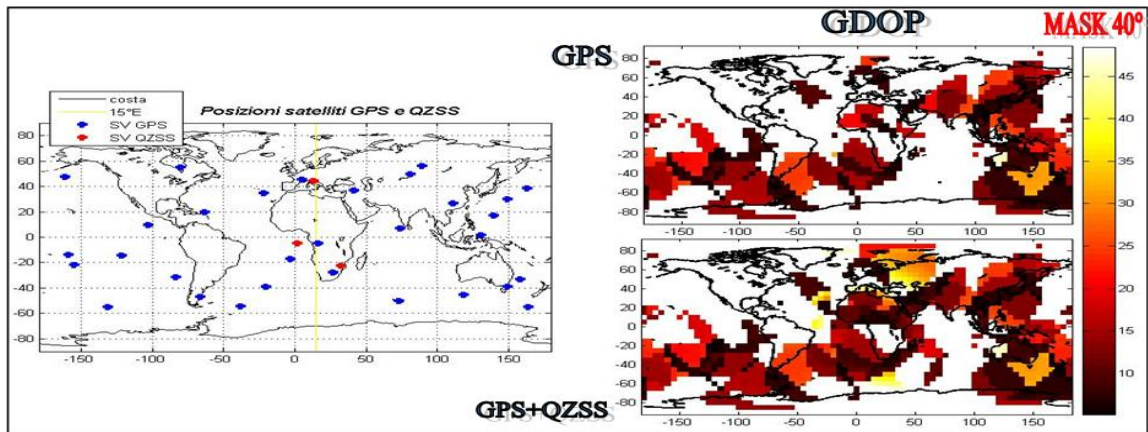


Figura 5 – Posizioni e GDOP delle costellazioni GPS e GPS+QZSS con mask angle 40° (20/06/2007, ore 06:00)

Per approfondire l'analisi del posizionamento in area urbana si è utilizzato il software di simulazione sviluppato, con in ingresso gli angoli di mascheramento relativi ad un osservatore posto a Napoli ( $\varphi = 40.84^\circ\text{N}$ ,  $\lambda = 14.25^\circ\text{E}$ ), derivanti da un modello tridimensionale della zona (fig. 6, D'Andrea et al., 2004).

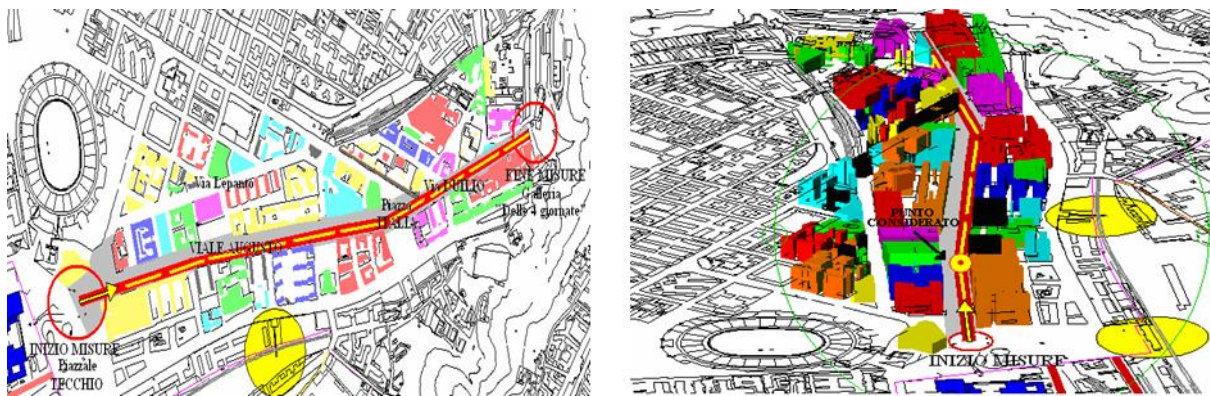


Figura 6 – Area di Napoli considerata e modello 3D

Già con un angolo di mascheramento standard di 5° si nota la differenza tra la copertura della sola costellazione GPS e della GPS+QZSS (fig. 7): nel secondo caso risultano visibili, nelle 24 ore considerate, sempre 2 satelliti in più e la curva del GDOP è sempre più bassa (quindi si ha una migliore configurazione geometrica).

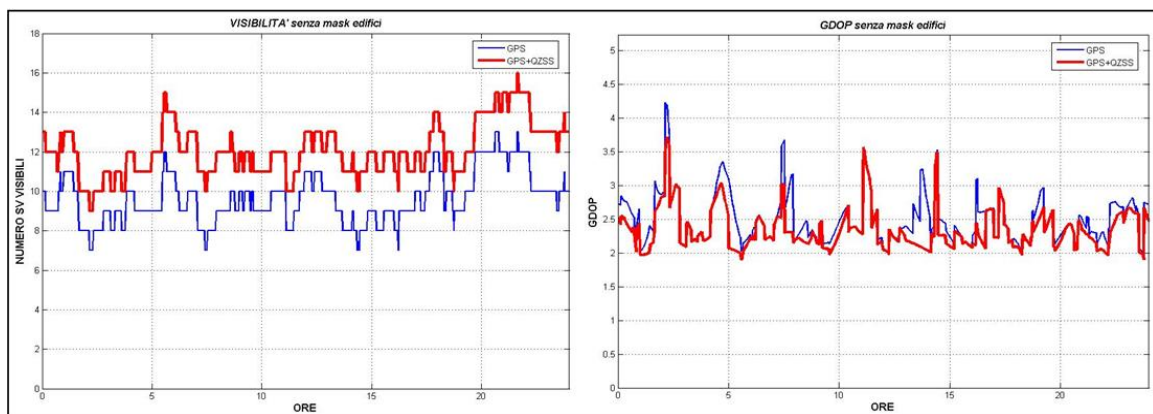


Figura 7 – Numero di SV visibili e GDOP in assenza di edifici per osservatore a Napoli (20/06/2007)

Ancora più netta è la differenza tra le coperture delle due costellazioni se si considerano i mascheramenti degli edifici (fig. 8): con la sola costellazione GPS spesso vi è interruzione del servizio per insufficienza del numero di satelliti visibili (meno di 4), mentre accade molto di rado con l'integrazione QZSS. In molte occasioni il GDOP della costellazione GPS assume valori inaccettabili, per la cattiva geometria dei pochi SV visibili e tale problema è sensibilmente ridotto (anche se non eliminato) con l'ausilio dei 3 satelliti QZSS.

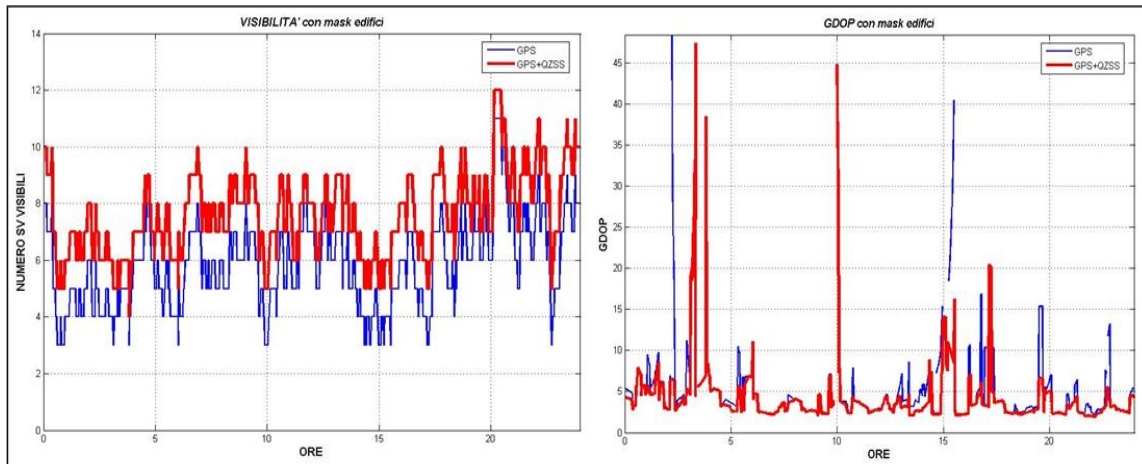


Figura 8 – Numero di SV visibili e GDOP in presenza di edifici per osservatore a Napoli (20/06/2007)

## 5. Conclusioni

Dalla simulazione effettuata è stato rilevato un netto miglioramento della copertura della costellazione GPS+QZSS rispetto alla sola GPS, sia da un punto di vista quantitativo (numero di satelliti visibili) che qualitativo (parametro GDOP), soprattutto nella zona intorno al meridiano centrale delle tracce, ma l'influenza dei satelliti QZSS è riscontrabile anche molto lontano da esso a causa della grande altezza media delle sue orbite.

Il miglioramento di copertura è poco incidente per *mask angle* standard ( $5^\circ$ ), ma diventa più rilevante con il suo aumentare ( $40^\circ$ ) e risulta molto netto con mascheramenti tipici di aree urbane; in questo caso i soli satelliti GPS danno luogo ad una copertura non continua e spesso con precisioni non accettabili, mentre con l'ausilio dei satelliti QZSS questi problemi sono fortemente attenuati anche se non completamente eliminati: vi sono sempre periodi relativamente brevi in cui la configurazione satellitare consente solo posizionamenti imprecisi o addirittura in cui il servizio risulta interrotto. Queste carenze di copertura sulle grandi città potrebbero risolversi con l'utilizzo di altri satelliti opportunamente posizionati oppure attraverso l'uso dei meno costosi *pseudolites*.

## Bibliografia

- Japan Aerospace Exploration Agency (2007), *Interface Specification for QZSS*  
 Kogure S., Sawabe M., Kishimoto M., Japan Aerospace Exploration Agency (2006), *Status of QZSS Navigation System in Japan*, ION GNSS 2006  
 Piras M., Radicioni F. (2006), "GNSS: quale scenario nel prossimo futuro?", [www.sifet.org](http://www.sifet.org)  
 D'Andrea M., Vespe F., Vultaggio M. (2004), "Benefici per la navigazione in area urbana dall'integrazione del GPS con GALILEO", Atti 8<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA  
 Takahashi H. (2004), *Japanese Regional Navigation Satellite System "The JRANS Concept"*, Journal of Global Positioning Systems (2004) Vol. 3, No. 1-2: 259-264