



X CONVEGNO NAZIONALE S.I.I.V.



DGPS CINEMATICO INTEGRATO CON VIDEORIPRESE PER IL COLLAUDO DELLA SEGNALETICA ORIZZONTALE E LA RESTITUZIONE DELLA LINEA D'ASSE

Giuseppe Mussumeci

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale
Università di Catania – Viale Andrea Doria 6 – 95125 – Catania – Italy

Tel: +39.095.7382212/03

Fax: +39.095.7382247

E-mail: gmussume@isfa.ing.unict.it

DGPS CINEMATICO INTEGRATO CON VIDEORIPRESE PER IL COLLAUDO DELLA SEGNALETICA ORIZZONTALE E LA RESTITUZIONE DELLA LINEA D'ASSE

GIUSEPPE MUSSUMECI – Dip.to di Ingegneria Civile e Ambientale – Università di Catania

SOMMARIO

Il problema che maggiormente condiziona il rilevamento di precisione di un asse stradale mediante GPS cinematico-differenziale è rappresentato dall'incertezza sulla posizione del veicolo rilevatore rispetto all'asse, di fronte alla quale perde significato l'elevata precisione strumentale e metodologica potenzialmente conseguibile.

Un primo passo per la corretta definizione dell'asse stradale può essere rappresentato dal rilevamento di precisione delle linee segnaletiche o di altri elementi stradali certi (bordi pavimentati, cunette, muri, guard-rail).

Si propone un algoritmo matematico che consente di "riconoscere" i diversi elementi della generica linea segnaletica ed in particolare di quella centrale, restituendo la geometria dell'asse tracciato sulla strada in termini di rettilinei, raccordi progressivi e curve circolari, al fine di un immediato confronto con l'asse di progetto.

L'applicazione del metodo di rilevamento alle linee più esterne o ai margini stessi della pavimentazione consente di acquisire le dimensioni trasversali della piattaforma stradale lungo il suo sviluppo al fine di ricostruirne la linea d'asse o verificarne la compatibilità con il tracciamento corretto della linea di progetto.

ABSTRACT

In this paper, theoretical-experimental research is proposed on the problem which more influences the precision surveying of road axes: the uncertainty about the vehicle position as regards the axis, which lowers the instrumental and methodological precision. An experimental approach based on GPS and contemporary images acquisition of road signs has been carried out with the aim of defining the axis geometry in terms of straights, progressive and circular curves.

1. INTRODUZIONE

Già da alcuni anni vengono condotti rilevamenti GPS cinematici finalizzati al riconoscimento della geometria dell'asse stradale. In realtà, un ricevitore solidale ad un veicolo in movimento non può che rilevarne la traiettoria e questa, in generale, non è direttamente riferibile alla effettiva geometria dell'asse, se non in termini di prima approssimazione.

Nella pratica operativa, infatti, è pressoché impossibile che il conducente del veicolo segua esattamente la linea di segnaletica, vuoi per motivi di sicurezza della circolazione (interferenze con i flussi veicolari nei due sensi di marcia), vuoi per le oggettive difficoltà di guida. Inoltre, non è nemmeno detto che la segnaletica riproduca fedelmente l'asse di progetto!

Le esigenze di un rilevamento di precisione dell'asse stradale, ad esempio ai fini della redazione del Catasto delle Strade o della programmazione e progettazione degli

interventi di adeguamento della geometria ai nuovi standard di sicurezza, non possono certamente essere soddisfatte dal semplice approccio “traiettografico”. Nasce allora l’esigenza di definire nuove procedure che, pur garantendo la speditività e l’alto rendimento del GPS cinematico differenziale, consentano di attribuire il rilievo eseguito alla effettiva geometria dell’asse stradale e di ricostruirne la composizione in termini di rettifili, raccordi progressivi e curve circolari.

Con la presente memoria si intende proporre una metodologia di rilevamento finalizzata alla definizione geometrica della segnaletica orizzontale, ai fini di un suo collaudo (stranamente ancora non previsto dalle norme vigenti) e quale primo passo per una corretta ricostruzione degli elementi geometrici della linea d’asse, specialmente nel caso di rilevamenti a grande scala per i quali ciò ha maggiore significato. E’ indubbio, infatti, che per le esigenze di un aggiornamento cartografico a piccola scala (< 1:25.000) possono risultare idonei anche gli approcci, già in parte sperimentati e riportati in letteratura, basati sull’impiego di funzioni *spline* e curve polinomiali di diverso grado, che bene si prestano a interpolare la semina di punti lungo la traiettoria ai fini del riconoscimento di parametri fisici e dinamici significativi per l’analisi della funzionalità dell’infrastruttura (raggi di curvatura, velocità, contraccollo, ...).

2. PROPOSTA DI UNA PROCEDURA INTEGRATA DI RILEVAMENTO GPS E RIPRESA CON VIDEOCAMERA.

La procedura che si propone nasce dall’idea di riferire il rilevamento geometrico GPS ad elementi certi della sede stradale, quali le linee della segnaletica orizzontale (laterali o di mezzzeria) o gli elementi fissi presenti ai suoi margini (cunette, guard-rail, muri di contenimento, ...).

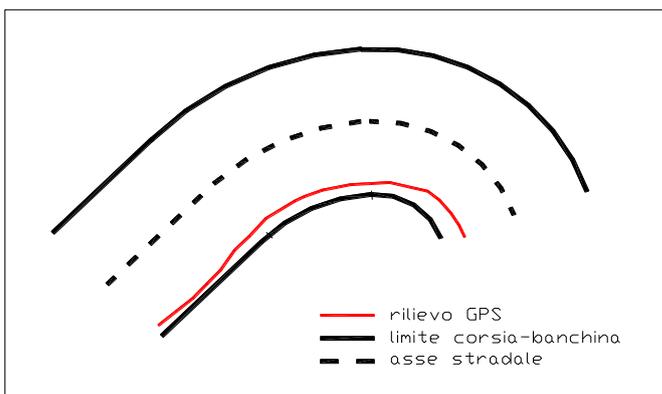


Figura 1 – Posizione del problema

Si propone una metodologia di rilievo basata sulla contemporanea acquisizione di immagini della segnaletica orizzontale e di punti GPS.

La procedura consiste nel determinare in modalità cinematica differenziale la traiettoria percorsa dal veicolo e di riferirla alla linea segnaletica tracciata sulla pavimentazione con un post-processing basato sull’analisi delle immagini della stessa riprese contemporaneamente al rilievo GPS.

In figura 1 è schematizzato il problema geometrico da risolvere: data la geometria della linea segnaletica di riferimento, il rilievo GPS restituisce, in generale, una linea che se ne discosta per gli inevitabili errori di guida; ci si propone di restituire la geometria della linea segnaletica.

Nella seguente figura 2 è schematizzato l’approccio analitico alla risoluzione del problema. Note le coppie di coordinate (E, N) dei punti rilevati cinematicamente con il GPS, è possibile scrivere l’equazione della retta $r_{i,i+2}$ che congiunge il generico punto (i) con il secondo successivo ($i+2$). E’ inoltre possibile scrivere l’equazione della retta n_{i+1} normale alla $r_{i,i+2}$ e passante per il punto intermedio ($i+1$).

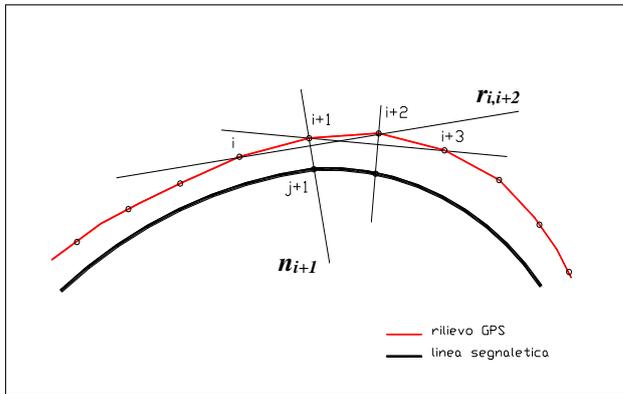


Figura 2 – Approccio Analitico

$$d_{(r_{i,i+2})-(i+1)} = \frac{|aE_{i+1} + bN_{i+1} + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (3)$$

Equazione della retta $r_{i,i+2}$ passante per (i) e $(i+2)$:

$$r_{i,i+2} : \frac{E - E_i}{E_{i+2} - E_i} = \frac{N - N_i}{N_{i+2} - N_i} \quad (1)$$

Equazione della retta n_{i+1} normale a $r_{i,i+2}$ e passante per $(i+1)$:

$$n_{i+1} : \frac{E - E_{i+1}}{E_{i+2} - E_i} = -\frac{N - N_{i+1}}{N_{i+2} - N_i} \quad (2)$$

Distanza del punto $(i+1)$ dalla retta $r_{i,i+2}$, misurata lungo la normale alla corda i_{i+2} :

con $a=1$, $b = \frac{E_{i+2} - E_i}{N_{i+2} - N_i}$, $c = bN_i - E_i$.

Ipotizzando che il veicolo rilevatore proceda a velocità pressoché costante, i punti rilevati saranno all'incirca equidistanti. Ad esempio, procedendo a velocità di 40 Km/h si avrà la determinazione delle coordinate di un punto circa ogni 11 m. Trattandosi di distanze modeste rispetto agli usuali valori di raggio planimetrico, è lecito assumere il segmento curvilineo compreso tra un punto ed il secondo ad esso successivo coincidente con un arco di circonferenza. Ne consegue che la corda risulta parallela alla tangente alla traiettoria nel punto intermedio tra i due estremi considerati.

Utilizzando una telecamera solidale al veicolo, in posizione fissa rispetto all'asta porta antenna e con asse di ripresa parallelo all'asse longitudinale dello stesso, ovvero alla direzione di marcia, è possibile stimare, su ciascun fotogramma ripreso in corrispondenza delle determinazioni GPS, la distanza trasversale tra l'antenna e la linea segnaletica "inseguita" (Fig. 3).

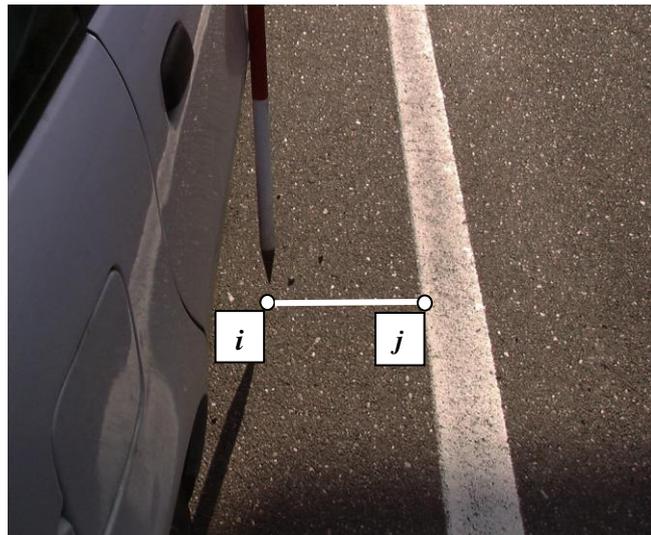


Figura 3 – Esempio di immagine ripresa con una telecamera solidale al veicolo rilevatore in posizione fissa rispetto all'antenna e con asse ottico parallelo alla direzione di marcia.

Con riferimento alla successiva fig. 4, è dunque disponibile il valore della distanza $d_{i,j}$. Ciò consente di risalire alle coordinate del punto j sulla linea segnaletica, attraverso il seguente sistema di equazioni:

$$\begin{cases} d_{i,j} = \sqrt{(E_i - E_j)^2 + (N_i - N_j)^2} & \text{distanza del punto } (j) \text{ dalla tangente alla traiettoria in } (i) \\ & \text{[letta sull'immagine ripresa]} \\ \frac{E_j - E_i}{E_{i+1} - E_{i-1}} = -\frac{N_j - N_i}{N_{i+1} - N_{i-1}} & \text{retta normale alla tangente in } (i), \text{ esplicitata per il punto } (j) \end{cases}$$

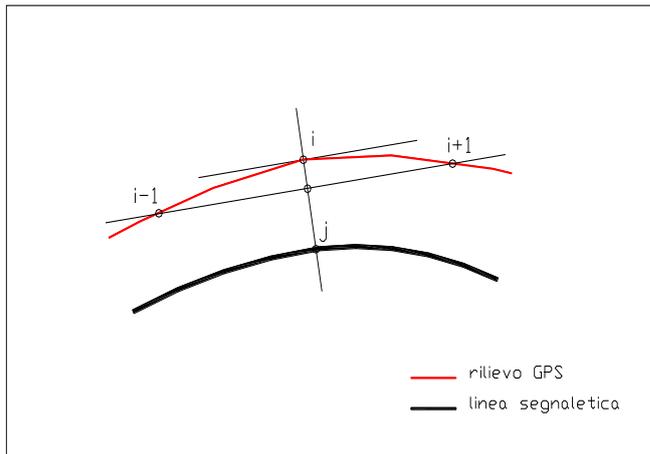


Figura 4

L'applicazione della procedura a tutte le successive terne di punti consente di definire la posizione di una serie di punti sulla linea segnaletica partendo dalla serie dei punti rilevati (traiettoria). Per definire la geometria della linea segnaletica, in termini di rettili, eventuali raccordi progressivi e curve circolari, si può procedere così come indicato nella FASE II del diagramma di flusso riportato in figura 6, che sintetizza l'intero algoritmo proposto.

In sintesi, si propone di calcolare, ripetendo le operazioni della FASE I sui punti della linea segnaletica ricostruita, il valore della freccia in corrispondenza degli archi di circonferenza individuati dalle terne di punti consecutivi e, in funzione del suo valore (nullo o costante) definire le equazioni delle rette della poligonale d'asse e delle circonferenze di raccordo.

Nota infatti la freccia f_{j+1} sottesa dalla generica terna di punti $j, j+1, j+2$ (Vd. Fig. 5) è possibile determinare, dopo avere calcolato la distanza $d_{j,j+1}$, il valore del raggio R_{j+1} :

$$R_{j+1} = d_{j,j+1}^2 / 2 f_{j+1}$$

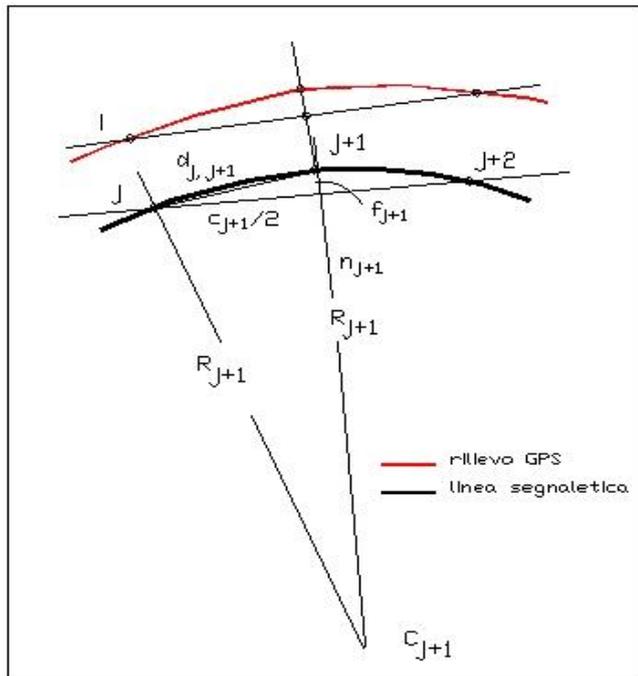


Figura 5 – Analisi della linea segnaletica

Quindi, traslando le coordinate del punto $j+1$ della quantità R_{j+1} lungo la retta n_{j+1} , si determinano le coordinate del centro C_{j+1} della circonferenza sottesa.

L'inserimento degli eventuali raccordi progressivi, che sulle nostre strade sono in atto solo rami di clotoide, può a questo punto essere facilmente effettuato attraverso una routine che ne fornisca il parametro A e tutti gli elementi utili per il suo tracciamento in funzione dello scostamento ΔR e del valore del raggio R della circonferenza (FASE III del diagramma di flusso di fig. 6).

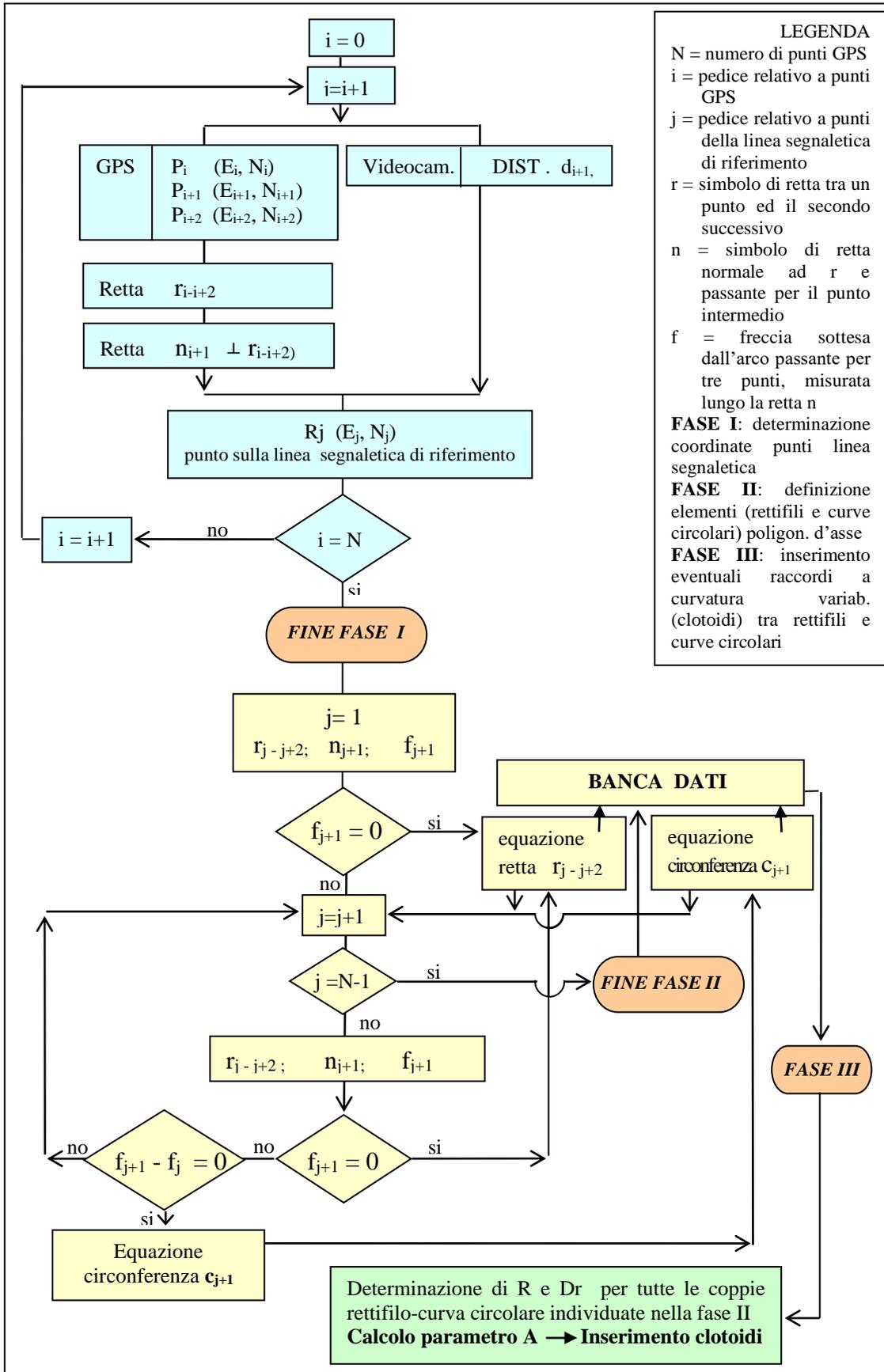


Figura 6 – Algoritmo per il riconoscimento della geometria della linea segnaletica

3 - PRIMI RISULTATI E SVILUPPI FUTURI DELLA RICERCA

L'algoritmo illustrato nella presente nota è stato testato effettuando una serie di rilevamenti di brevi tronchi stradali e verificando le precisioni conseguite. Le problematiche emerse nel corso di questa prima fase della ricerca sono già oggetto degli sviluppi futuri programmati. La ricerca, tra l'altro, si inserisce in un progetto PRIN2000 con il quale ci si propone di mettere a punto un veicolo rilevatore ad alto rendimento da utilizzare anche per il rilevamento stradale.

I primi risultati sono molto incoraggianti ed inducono a perfezionare la procedura, in particolare realizzando un software interattivo con il quale:

- 1) governare in modo rigoroso le operazioni di rilevamento (sincronizzazione degli orologi delle apparecchiature e avviamento simultaneo delle riprese e del rilevamento geometrico);
- 2) automatizzare le varie fasi di analisi, soprattutto in relazione ai seguenti momenti:
 - selezione dei fotogrammi da associare ai punti rilevati e "lettura", sugli stessi, delle distanze di interesse;
 - definizione degli elementi della poligonale d'asse;
 - inserimento dei raccordi progressivi;
 - restituzione cartografica del rilievo.

Un altro problema da affrontare è quello della definizione altimetrica dell'asse stradale, per la quale, allo stato attuale, appare improbabile conseguire precisioni confrontabili con quelle della ricostruzione planimetrica. Ai limiti propri delle determinazioni altimetriche mediante GPS, infatti, si aggiunge che "traslando" il rilievo traiettografico su qualsivoglia linea segnaletica si hanno modifiche dello sviluppo delle livellette e dei raccordi verticali rilevati, senza però avere elementi per la correzione delle quote. Si potrebbe affrontare il problema effettuando il percorso in andata e in ritorno, per stimare la pendenza trasversale e quindi correggere la quota dei punti della linea d'asse ottenuti "traslando" il rilevamento GPS.

Per quanto riguarda gli aspetti più generali che riguardano il campo di interesse della ricerca, appare utile proporre le seguenti brevi considerazioni.

Innanzitutto, si rileva che la segnaletica orizzontale non è sempre rispondente alla geometria di progetto. Sembra pertanto auspicabile l'istituzione e la normalizzazione di procedure finalizzate al collaudo geometrico di questo "elemento" della sede stradale, che esercita un ruolo sicuramente importante ai fini della sicurezza della circolazione. La sua verifica, inoltre, assume sempre maggiore importanza alla luce degli sviluppi delle ricerche di settore che propongono, per la costruzione della linea d'asse, geometrie sempre più complesse e sofisticate per meglio rispondere alle esigenze del comfort e della sicurezza di marcia.

Per altro verso, si rivela necessario, ove la geometria dell'asse non risulti correttamente tracciata, rilevare i margini della pavimentazione, al fine di verificare che le dimensioni trasversali della sede stradale, per tutto lo sviluppo del tronco in esame, siano compatibili con il tracciamento dell'asse di progetto. Anche questa operazione, probabilmente, andrebbe eseguita in fase di collaudo dell'infrastruttura, soprattutto per verificare che sia possibile il tracciamento corretto dei raccordi a curvatura variabile.

Infine, sembra opportuno ribadire che la precisione perseguita con la procedura proposta nel presente lavoro, che ci si attende dell'ordine dei $\pm 10-15$ cm, anche sulla scorta delle prime esperienze condotte, sono certamente superflue per l'aggiornamento cartografico a piccola scala, per il quale gli errori medi planimetrici accettabili sono dell'ordine dei metri, se non addirittura delle decine di metri. In questi casi, ovviamente, è sufficiente

riportare sulla cartografia la traiettoria rilevata, pur rimanendo valido l'approccio proposto per il riconoscimento degli elementi geometrici del tracciato in termini di rettilinei, raccordi progressivi e curve circolari, ai fini della caratterizzazione geometrica dell'infrastruttura.

Bibliografia

- [1] Alfred, Leick, 1995.– *GPS satellite surveying*, Wiley & Son, New York.
- [2] Leone L., Mussumeci G., 1996 - *Problematiche e prospettive dell'impiego del G.P.S. per il rilievo plano-altimetrico delle strade*, Collana di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie, vol. 2.
- [3] G. Bitelli, G. Dondi, 1996 - *L'impiego delle tecniche di rilievo GPS nella realizzazione del catasto stradale*, Collana di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie n.2, supplemento n.1, Infrastrutture e territorio, maggio 1996.
- [4] M. Barbarella, L. Vittuari, 1998 *Il rilevamento GPS: sviluppi recenti* - vol. I, p. 7-16, "II Conferenza Nazionale della federazione delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali (ASITA)" - Bolzano, novembre 1998.
- [5] V. Casella, R. Galetto, 1998, *Tecniche innovative per il rilevamento terrestre, aereo e da satellite* - vol. I, p. 33-54, II Conferenza nazionale della federazione delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali (ASITA)" - Bolzano, novembre 1998.
- [6] Mussumeci G. , 2000 - *GPS and GIS for realization and government of Road Cadastre*, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) WG VI/3 – IV/3, Lubiana (Slovenia), 2-5 febbraio 2000.
- [7] Mussumeci G., 2000 – *Sul riconoscimento della geometria dell'asse stradale in base a rilevamenti GPS cinematici*, IV Conferenza Nazionale della federazione delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali (ASITA)" – Genova, 3-6 ottobre 2000.