

# **Posizionamento di mezzi in moto ad alta velocità mediante tecniche GNSS ad alta frequenza: confronto con i sensori utilizzati nei sistemi di acquisizione di bordo**

Costante BONACINA (\*), Giorgio VASSENÀ (\*), Marco GADOLA (\*\*), Stefano MORBIOLI (\*\*)

(\*) Università degli Studi di Brescia - DICATA, via Branze 43 - 25123 Brescia, tel 030 3711236,  
[costante.bonacina, giorgio.vassena]@ing.unibs.it

(\*\*) Università degli Studi di Brescia – DIM, via Branze 38 - 25123 Brescia, tel 030 3715663,  
[marco.gadola, stefano.morbioli]@ing.unibs.it

## **Introduzione**

Il posizionamento di veicoli in moto ad alta velocità è affetto da una vasta serie di problematiche dovute alla frequenza di acquisizione del segnale e della correzione differenziale. Le difficoltà maggiori sono legate al mantenimento della stabilità di posizionamento in condizioni di visibilità del cielo sfavorevoli e al bisogno di acquisire con frequenze elevate al fine di non perdere informazioni importanti legate alla traiettoria del mezzo in moto.

Le informazioni di posizione ottenute con sistema satellitare possono essere convenientemente integrate con sensori comunemente impiegati per la telemetria, al fine di riferire geograficamente i dati relativi al moto e di valutare l'influenza della traiettoria su tali dati.

I risultati di questa metodologia di rilevamento sono legati fortemente al tipo di strumentazione utilizzata ed alle condizioni ambientali al contorno. È incoraggiante il comportamento riscontrato in condizioni favorevoli, da approfondire il problema della frequenza di correzione.

Il presente contributo descrive la procedura utilizzata e i risultati ottenuti strumentando un'autovettura impiegata nell'automobilismo da competizione.

## **Abstract**

GPS positioning of high speed vehicles is limited by several problems due to the signal sampling rate and differential correction issues. The preservation of a stable positioning in unfavorable visibility conditions and the need of high sampling rate for the trajectory integrity are the most relevant difficulties to be considered.

The presented results are strongly dependent on involved instrumentation and external conditions. Behavior showed in favorable environmental conditions is encouraging; the problem of the correction frequency needs to be more in depth analyzed.

## **Considerazioni preliminari**

Il posizionamento dei veicoli in moto è un tema di grande interesse e che nell'ultimo decennio ha visto confluire una grossa quantità di risorse per lo sviluppo dei sistemi di navigazione impiegati nei comuni automezzi.

In ambito scientifico l'interesse è rivolto all'integrazione tra sensori GNSS e sensori inerziali per la navigazione in assenza di segnale e per la georeferenziazione di informazioni estratte da dati eterogenei e non necessariamente di carattere geografico.

È possibile tuttavia ottenere – dai sistemi di navigazione satellitare – informazioni più accurate e con frequenza di aggiornamento elevata, al fine di studiare le traiettorie e l'assetto dei veicoli, per giungere alla valutazione dei parametri indicatori della stabilità e del comfort di marcia.

In particolare l'utilizzo del segnale di correzione differenziale, in tempo reale o in post-processamento, permette di conoscere la posizione di punti vincolati ai mezzi in moto con accuratezza centimetrica, e l'elevata frequenza di campionamento permette di descrivere in modo sufficientemente dettagliato le traiettorie percorse. Le informazioni sulle traiettorie sono di grande importanza per la progettazione delle vie di fuga e relative barriere di assorbimento nei circuiti ed anche per lo studio e la progettazione degli elementi nodali nelle infrastrutture stradali.

## **Le fasi operative**

Le prime sessioni di misura sono state condotte durante una sessione di prove presso l'autodromo di Vallelunga, a Campagnano di Roma, nel mese di Novembre 2005.

Per l'esecuzione dei test di posizionamento è stato impiegata un'autovettura da competizione, su cui è stato installato un ricevitore GPS geodetico in grado di acquisire dati di osservazione alla frequenza massima di 10 Hz. L'antenna è stata montata in posizione sufficientemente libera per ricevere il segnale GPS, sotto il lunotto posteriore.

Il fissaggio dei sensori al veicolo è stato effettuato mediante l'utilizzo di una piastra vincolata mediante "silent block" al fine di isolare la strumentazione installata a bordo dalle vibrazioni in alta frequenza che avrebbero potuto danneggiarla. Il mezzo è stato strumentato anche con 4 ruote foniche, un misuratore ottico di velocità e assetto, un giroscopio con asse parallelo all'asse verticale del corpo vettura e un accelerometro con asse parallelo all'asse trasversale del veicolo.

Durante questa prima fase di test è stata utilizzata la tecnica di posizionamento GPS Post-Process Kinematic, acquisendo dati sulla vettura in moto e contestualmente dati da un ricevitore posto sulla copertura dei box, anch'essi alla frequenza di 10 Hz.



**Figura 1 – Sensori GPS all'interno del veicolo**



**Figura 2 – GPS Master**

Il circuito di prova è inscritto in un cerchio, avente il centro nella posizione del GPS Master, di raggio pari a circa 1 Km; le distanze in gioco permettono quindi una buona risoluzione dell'ambiguità di fase in post-processamento.

Per valutare oggettivamente le traiettorie descritte dai mezzi durante i giri veloci, sono stati rilevati i bordi della pista montando l'antenna GPS su un mezzo che ha percorso le traiettorie interna ed esterna, a cavallo della linea, a bassa velocità.

I valori di coordinate nel sistema WGS84 sono stati convertiti in un sistema euleriano locale avente il centro di emanazione nel punto di stazione GPS Master; i risultati sono intrinsecamente congruenti, confortati dalla corrispondenza con un rilievo precedente effettuato con tecnica tradizionale.

Durante le prove sono state effettuate acquisizioni continue di osservazioni GPS e parallelamente di dati provenienti dal sistema di acquisizione dati installato a bordo del veicolo.

I dati acquisiti sono analizzati facendo riferimento al giro completo di pista, individuabile grazie al posizionamento di un trigger (beacon) per la segnalazione del passaggio al traguardo; la sincronizzazione tra i dati dei diversi sensori è stata effettuata a tavolino durante le fasi di post-processamento, traslando i profili di velocità ottenuti da sensori diversi fino a rendere minimo lo scarto quadratico medio tra i due profili stessi.

## Risultati

Il post-processamento dei dati GPS fornisce le traiettorie di ciascuno giro e i dati in output sono utilizzati per la redazione dei profili di velocità e accelerazione del mezzo.

Le misure di posizionamento effettuate mediante l'acquisizione e la successiva elaborazione del segnale GPS hanno permesso di innalzare il contenuto informativo di tutti i dati veicolo acquisiti dalla centralina installata a bordo; la visualizzazione dei parametri veicolo, acquisiti mediante trasduttori dedicati, ha un ruolo chiave nell'interpretazione e nell'analisi del comportamento dinamico di una vettura su pista. La valutazione comparativa dei segnali necessita tuttavia di un dominio comune a tutte le acquisizioni. Per questa specifica applicazione il dominio del tempo è generalmente di scarsa utilità e viene normalmente sostituito da un riferimento calcolato di spazio percorso.

Il calcolo avviene per integrazione dei valori di velocità veicolo e l'inevitabile deriva viene limitata mediante l'acquisizione del segnale di un trasmettitore (beacon) collocato fisicamente in un punto significativo del tracciato. Nonostante la presenza di un riferimento fisso nelle acquisizioni di ogni giro di pista, la ricostruzione della distanza percorsa dal veicolo in ogni istante considerato è affetta da numerose approssimazioni legate alla metodologia di misura della velocità ed alla deriva di integrazione dei segnali acquisiti. Normalmente la velocità del veicolo viene calcolata utilizzando la misura della velocità angolare di rotazione delle singole ruote. Questo metodo è estremamente affidabile e robusto, ma comporta una serie di assunzioni preliminari che non sempre possono trovare riscontro nella realtà. Il valore di velocità infatti:

- . risulta dal prodotto della velocità angolare per un valore di raggio di rotolamento costante;
- . è ottenuto combinando le informazioni provenienti dalle quattro ruote.

E' evidente l'approssimazione effettuata assumendo costante il valore del raggio di rotolamento, che invece varia in funzione di parametri dinamici quali la velocità di rotazione della ruota, il carico verticale agente sulla ruota, la pressione di gonfiaggio, l'angolo di camber (angolo formato tra il piano medio della ruota e il piano che identifica il fondo stradale).

Inoltre, il moto delle ruote non rispetta la schematizzazione rappresentata dalla rotazione pura attorno ad un punto di contatto a terra:

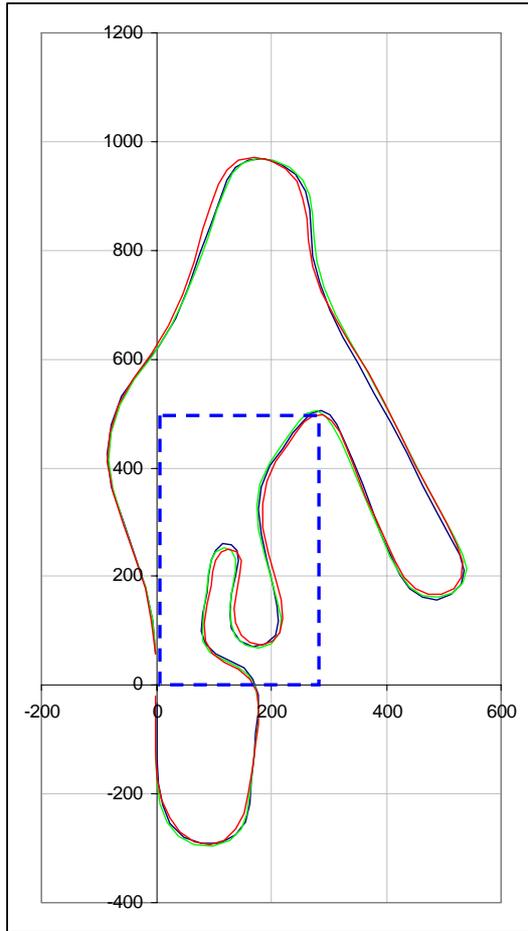
- . è sempre presente dello scorrimento in grado più o meno elevato (il pattinamento in accelerazione e il bloccaggio in frenata rappresentano le condizioni estreme);
- . non esiste un singolo punto di contatto, bensì una superficie con impronta caratterizzata da morfologia e distribuzione di pressione variabili.

Ancora, la distanza così calcolata è legata alla traiettoria percorsa; infatti, seguendo traiettorie differenti si ottengono valori di distanza percorsa diversi ad ogni giro di pista.

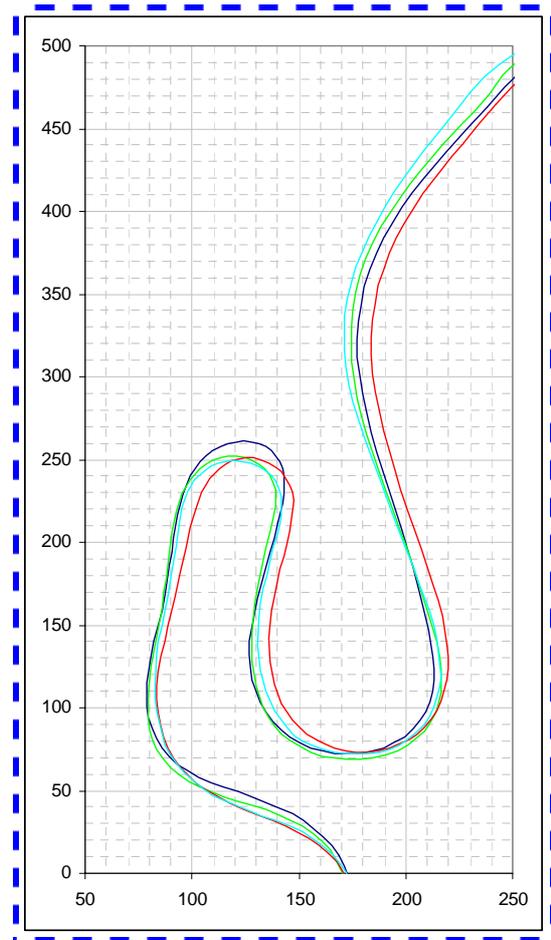
Da quanto osservato emerge la necessità di poter utilizzare uno strumento in grado di fornire informazioni di posizione dirette, svincolate dalla fisica del contatto ruota-strada.

In questo contesto, le misure ottenute con un sistema GPS hanno permesso di acquisire la posizione del veicolo sul tracciato. Con l'impiego di questa metodologia sono possibili valutazioni sulla traiettoria effettivamente percorsa, quindi sullo stile di guida del pilota e sulle potenzialità e i limiti della vettura, valutazioni non effettuabili con i soli dati di velocità alla ruota ( $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ ,  $V_4$ ) e accelerazione laterale ( $A_y$ ). Di seguito è riportata la rappresentazione del circuito di Vallelunga ottenuta dai dati relativi ad alcuni giri di pista.

E' evidente l'incompatibilità della differenza di traiettoria con la larghezza del tracciato stesso, che si mantiene quasi ovunque al di sotto dei 10 metri (come rilevato con il sistema GPS), e con l'estensione della striscia gommata sul fondo della pista che normalmente limita le possibili traiettorie in un range di un paio di metri al massimo.

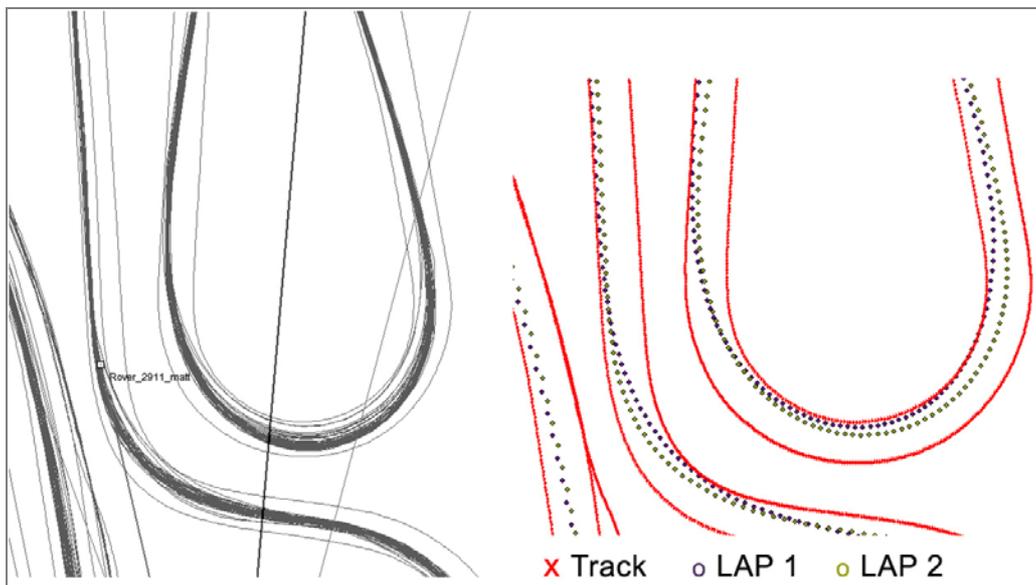


**Figura 3 – ricostruzione del tracciato attraverso i sensori ruota fonica e l'accelerometro**



**Figura 4 – particolare della ricostruzione**

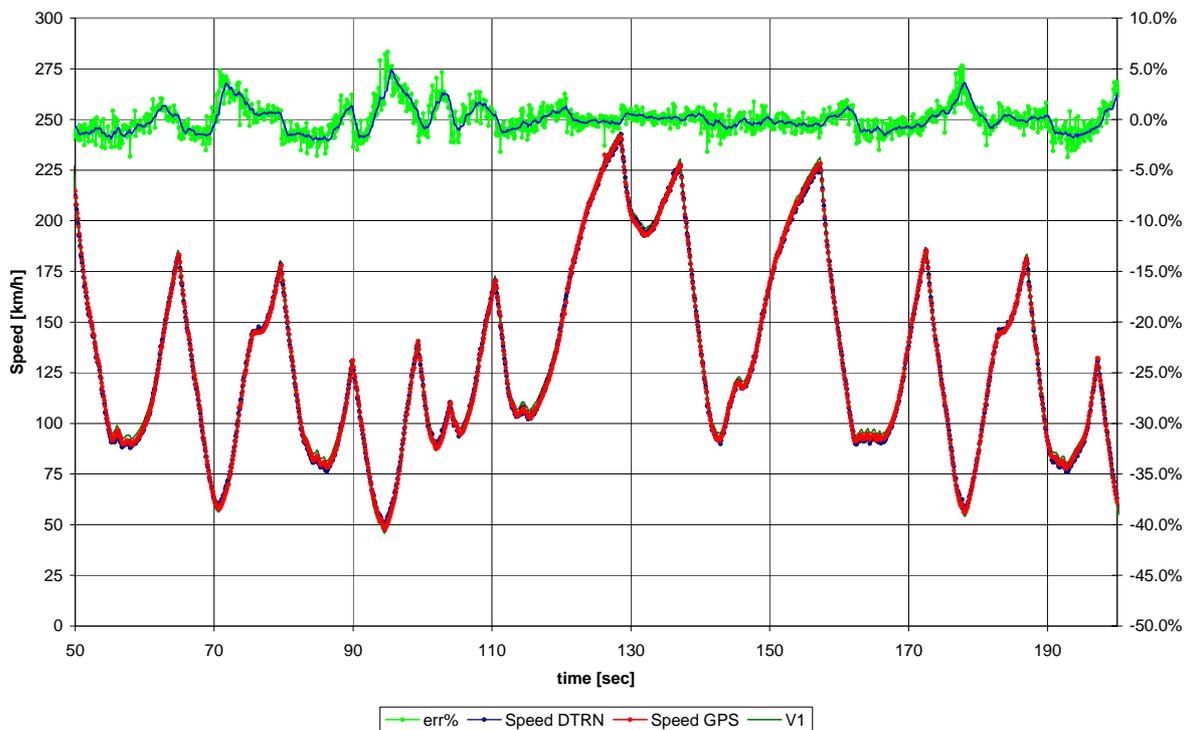
Al di fuori di questa zona infatti il coefficiente di aderenza pneumatico-fondo stradale crolla bruscamente, quindi il pilota tende per quanto gli è possibile a rimanere entro tali limiti, soprattutto in una sessione di test in cui la sua vettura è l'unica in pista e non è quindi costretto a modificare la propria linea per superare altre vetture.



**Figura 5 – Dettaglio della curva “Semaforo”: rilevamento dei bordi pista e traiettorie nella sessione di prove (sinistra), estrazione di due giri consecutivi (destra).**

Risulta quindi di particolare interesse la possibilità offerta dall'elaborazione del segnale GPS di confrontare le traiettorie su giri diversi, incrociando i dati di posizione con i tempi sul giro, le velocità in entrata e in uscita di curva per individuare quale sia la traiettoria più efficace, o per leggere indirettamente il degrado degli pneumatici sfruttando le variazioni di curvatura nella medesima curva, giro dopo giro.

Il sistema è in grado di rilevare la posizione della vettura con continuità anche a velocità superiori ai 240km/h, come risulta evidente dall'esame del grafico seguente.



**Figura 6 – sovrapposizione dei profili di velocità acquisiti con il sensore ottico (speed DTRN), con la ruota fonica (V1) e calcolati sulla base della misura GPS**

La differenza del valore ottenuto dall'elaborazione del dato GPS e quello misurato dal sensore ottico di velocità è sempre contenuta nella fascia  $\pm 5\%$ . Limitando l'analisi ai soli tratti in rettilineo la corrispondenza risulta ancora più elevata. E' opportuno osservare che i due dati sono stati ottenuti da due sensori diversi, posizionati in posizioni diverse all'interno della vettura. Ne deriva che l'informazione di moto ottenuta non riguarda un punto solo e il confronto rigoroso dovrebbe essere svolto attraverso una rielaborazione dei dati acquisiti che preveda alcune ulteriori trasformazioni per trasportare il vettore velocità in un medesimo punto del veicolo. Per capire quanto tale considerazione possa influire sui valori visualizzati è sufficiente osservare come in curva, in presenza di valori di velocità angolare (segnale YawRate [ $^{\circ}/s$ ], rappresentato con tratto-cerchio nel grafico seguente) superiori in modulo i 5 [ $^{\circ}/s$ ] l'informazione di velocità ottenuta dalla ruota esterna e quella della ruota interna di un medesimo assale siano differenziate in relazione alla diversa distanza dal centro di istantanea rotazione della vettura. Il rapporto relativo si inverte a seconda della direzione di curva: girando a destra è la ruota sinistra (V1, in rosso) a prevalere, viceversa nelle curve a sinistra la velocità della ruota destra (V2, in verde) è superiore.

Il valore di velocità ottenuto dall'elaborazione del segnale GPS (in rosa) si mantiene ad un livello intermedio, coerentemente con la posizione centrale occupata dall'antenna nell'installazione in vettura.

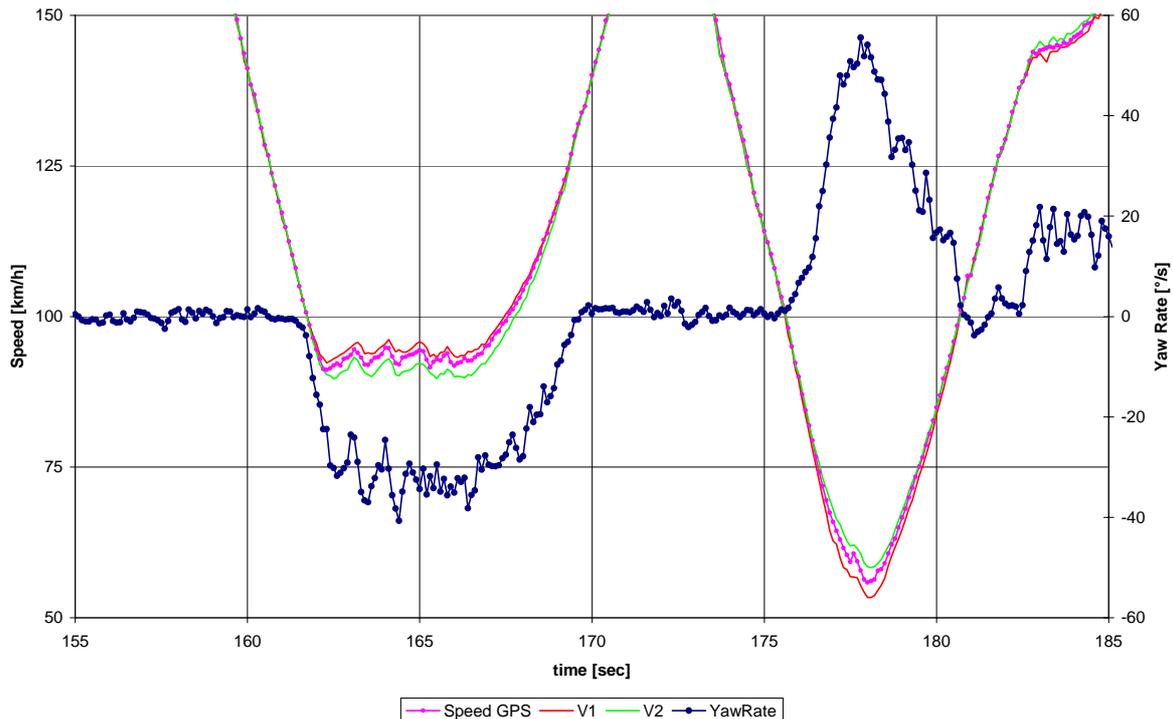


Figura 7 – particolare dell’acquisizione: i segnali di velocità in due curve opposte

## Conclusioni

Oltre a confermare la robustezza della tecnica di posizionamento PPK (Post Process Kinematik) i test effettuati hanno evidenziato la stabilità del dato acquisito ad alta frequenza ed in condizioni disagiati, con numero esiguo di satelliti in vista e forti accelerazioni impresse al sensore. Particolarmente confortante risulta la continuità della traiettoria, descritta in modo accurato e senza scarti significativi, anche nelle situazioni di entrata/uscita satelliti o nelle zone coperte. Interessante la ricaduta sulla visualizzazione e l’analisi dei dati acquisiti a bordo veicolo nei vari giri di pista, le possibilità di confronto di traiettorie diverse, nonché l’alternativa che questo sistema rappresenta ai metodi comunemente utilizzati per la misura della velocità del veicolo.

## Ringraziamenti

Si ringrazia lo staff di Aston Martin Racing BMS per la disponibilità a strumentare la vettura secondo le esigenze degli autori e a condividere i dati tecnici del rilievo. Il presente lavoro è stato cofinanziato dal MIUR, e si inquadra nell’ambito del Progetto di Ricerca di Rilevante Interesse Nazionale “*Applicazioni di metodologie innovative di rilevamento dati per Sistemi Informativi Stradali di aree urbane e industriali e agricole in evoluzione*”, coordinatore nazionale Prof. Giorgio Manzoni.

## Bibliografia

- Leick, A., *GPS Satellite Surveying*, John Wiley & Sons, New York, 1995.
- M. Guiggiani, *Dinamica del veicolo*. CittàStudi Edizioni, Ottobre 1998
- Vassena G., C. Lanzi, G. Stefani, *Trasmissione del segnale di correzione differenziale GPS attraverso internet: Applicazioni e potenzialità del metodo*. Atti 6° Conferenza Nazionale ASITA – Geomatica per l’ambiente, il territorio e il patrimonio culturale. Perugia, 5-8 Novembre 2002.
- Cina, A., A. Manzano. *Le stazioni permanenti GPS, caratteristiche e modalità di utilizzo, in Guida all’uso del GPS per il rilevamento del territorio*. Maggioli Editore, 1999, pp. 9A-34A.
- J. How, N.A. Pohlman, *GPS Estimation Algorithms for Precise Velocity, Slip, and Race-track Position Measurements*. SAE Motorsports Engineering Conference & Exhibition, Indianapolis (USA), December 2-5, 2002.