

Una rete GPS per l'ingegneria infrastrutturale del giubileo

Il progetto "GENCITEV"

GENCITEV è un acronimo che indica l'Ufficio Speciale del Genio Civile per il Tevere e l'Agro Romano del Ministero dei Lavori Pubblici. Tale Ufficio ha la responsabilità del controllo idrogeologico dei fiumi Tevere ed Aniene lungo la parte finale del loro percorso in particolare nell'area laziale e romana. Nell'ambito delle proprie competenze, rientrano sotto la responsabilità dell'Ufficio: la gestione, il coordinamento e il controllo di tutti gli interventi pubblici e privati insistenti nell'area dell'alveo dei fiumi.

In particolare, nell'ambito del progetto denominato "Gencitev" l'esigenza dell'Ufficio del Genio Civile era quella di porre sotto controllo plano-altimetrico un'area di circa 2 kmq interessata dalla costruzione del sottopasso automobilistico di Castel Sant'Angelo. Tale progetto consisteva nella realizzazione di un sottopasso automobilistico nell'area di Castel Sant'Angelo e di S. Pietro per decongestionare il traffico in vista e nell'ambito delle opere per il Giubileo del 2000. L'importanza storico architettonica della zona ove era previsto l'intervento imponeva, ovviamente, di mantenere un monitoraggio, attento e continuo, dell'intera area interessata per la salvaguardia dei manufatti preesistenti.

Per soddisfare tale esigenza l'Ufficio Speciale del Genio Civile per il Tevere e l'Agro Romano (USGC) ha indetto una gara che, oltre a rilievi geologici e batimetrici, prevedeva la realizzazione di una rete plano-altimetrica di alta precisione, da controllare periodicamente; questa avrebbe costituito la rete di inquadramento topografico fondamentale per la realizzazione di una cartografia di dettaglio dell'area di interesse, per il monitoraggio successivo della stabilità dei manufatti insistenti sull'area e per tutte le attività connesse alla realizzazione dell'opera.

Tabella 1. Coordinate del vertice della rete di georeferenziazione della stazione permanente

Vertice	Latitudine	Longitudine	quota
150701	41°41'30.758"±0.005(m)	12°43'16.610"±0.005(m)	442.443±0.009(m)
150902	41°47'51.956"±0.005(m)	12°14'22.840"±0.005(m)	671.689±0.010(m)
150903	41°42'26.839"±0.007(m)	12°34'22.856"±0.009(m)	175.537±0.012(m)
150904	41°59'28.507"±0.003(m)	12°37'23.872"±0.004(m)	136.407±0.006(m)
RM-Gencitev	41°54'15.137"±0.003(m)	12°30'26.365"±0.004(m)	132.986±0.006(m)

Realizzazione della rete: considerazioni generali

La rete di inquadramento da realizzare, così come indicata nel capitolato di appalto, doveva soddisfare diversi requisiti di cui il più stringente in termini di precisione era senz'altro quello connesso con il mantenimento e la rioccupazione periodica della rete, al fine di consentire il monitoraggio dei manufatti presenti nell'area durante le attività realizzative del sottopasso.

L'esigenza del monitoraggio planoaltimetrico di alta precisione dell'area è stata soddisfatta materializzando e rilevando

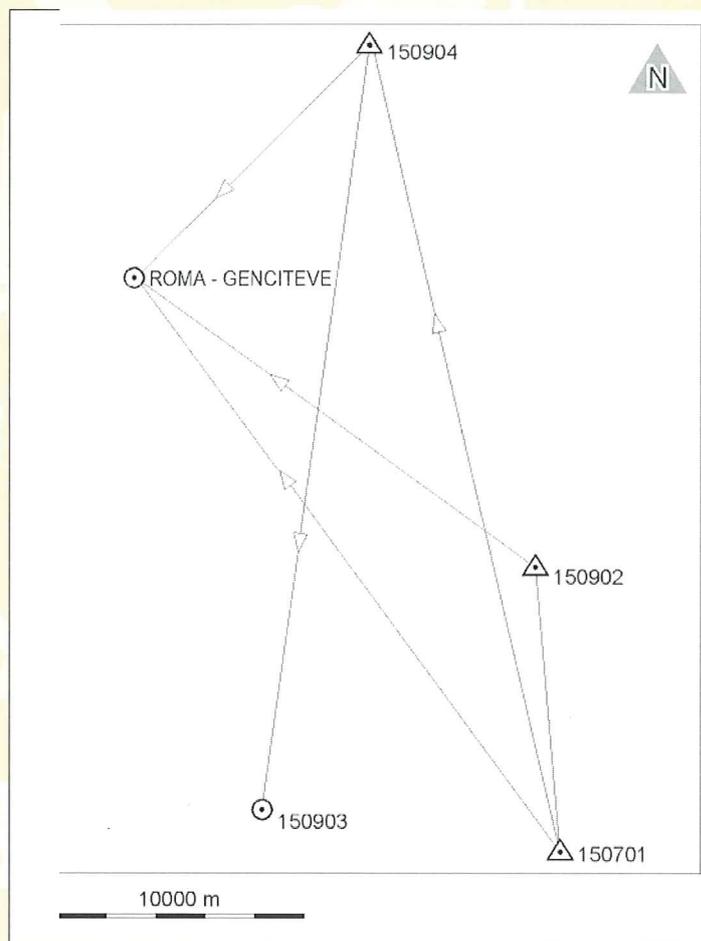


Figura 1. Rete per la georeferenziazione della stazione permanente Roma-Gencitev

sul territorio una sequenza gerarchica di reti di inquadramento e di controllo miste, rilevate in parte mediante GPS ed in parte mediante metodi tradizionali. In particolare, sono state realizzate due reti di inquadramento gerarchicamente connesse e una rete di monitoraggio altimetrico:

- la prima rete di otto punti, detta rete di inquadramento primaria, è stata interamente rilevata mediante GPS ed ha costituito una rete circolare piuttosto ampia intorno all'area di interesse;
- la seconda rete di 25 punti, detta rete di inquadramento secondaria, che è stata in parte rilevata con GPS e in parte mediante metodologia tradizionale, è stata localizzata nelle immediate vicinanze ed all'interno dell'area potenzialmente interessata dall'intervento;
- la terza rete di 100 punti altimetrici, detta rete di monitoraggio, è stata localizzata sui bastioni e sui ponti nell'area di interesse, e interamente rilevata mediante livellazione di alta precisione a partire da un punto altimetrico IGM di riferimento e connessa in planimetria con i punti della rete secondaria.

Le due reti di inquadramento sono state tra loro collegate in modo rigido emanandole in modo diretto (rete primaria) e/o indiretto (rete secondaria) da un unico vertice fondamentale di riferimento realizzato mediante un ricevitore GPS permanente.

L'impiego di un vertice di riferimento fondamentale basato

su un ricevitore GPS permanente realizza un diverso modo di materializzazione di un punto fiduciale sul territorio. Un tale vertice, infatti, presenta il vantaggio di essere mantenuto con continuità nel tempo e di fornire non solo un punto di riferimento di coordinate note, ma anche i dati GPS acquisiti su quel punto aumentando così la produttività dei professionisti impegnati nel rilievo. Infatti, in tal modo, non ci si deve più preoccupare di rintracciare e occupare il punto fiduciale di emanazione della rete da rilevare poiché esso risulta già disponibile.

La Stazione GPS permanente USGC

Il ricevitore permanente è stato localizzato nei pressi della Stazione Termini, dove sono situati gli uffici dell'USGC. La distanza di tale punto dall'area di monitoraggio è di alcuni km.

Scopo nella realizzazione di tale sito è stato quello di realizzarne uno di coordinate note con alta precisione, esterno all'area dell'intervento, e che diventasse un punto di riferimento unico per tutto il rilievo nell'area e più in generale per tutte le attività di rilievo topografico di pertinenza dell'Ufficio.

Il ricevitore GPS utilizzato è uno Wild SR399 della Leica con antenna esterna (At302) controllato da un Personal Computer attraverso un S/W di gestione proprietario. Esso è operativo con continuità dal luglio 1996 (periodo in cui sono stati effettuati i rilievi per la realizzazione delle reti di inquadramento planoaltimetrico). L'antenna è stata posizionata su un pilastro in cemento alto m 1.60 vincolato in modo rigido (mediante una base di cemento armato) ad un muro portante sul tetto dell'edificio che ospita gli uffici dell'USGC. Il ricevitore è controllato e mantenuto da remoto via modem.

Il ricevitore GPS permanente è stato georeferenziato in modo accurato e collegato alla rete fondamentale italiana realizzata dall'Istituto Geografico Militare (progetto IGM-95).

Per le applicazioni cartografiche sono stati infine determinati i parametri di trasformazione (validi nell'area di Roma) tra WGS-84 e Gauss Boaga.

Georeferenziazione della stazione permanente

La georeferenziazione del sito permanente rispetto alla rete IGM-95 è stata ottenuta mediante una campagna di misure dedicata.

Una rete di punti IGM-95 (vedi figura 1), di cui erano note le coordinate WGS84 e GAUSS - BOAGA è stata rilevata con il GPS in modalità statica per un periodo complessivo variante

tra le sei e le nove ore in concomitanza con l'operatività della stazione permanente di riferimento. Nella campagna di rilievo, durata due giorni, sono stati impiegati quattro ricevitori GPS, due System 200 e due System 300, a doppia frequenza.

Come si nota dalla figura 1, la rete risulta sbilanciata verso Est. In sede di progettazione della campagna e di rilievo della medesima, era stata pianificata l'occupazione di altri due punti IGM-95 a Ovest del punto Roma Gencitev, l'149701 e l'143902. Il primo, purtroppo, non è risultato accessibile e non è stato quindi possibile rilevarlo, mentre il secondo, che è stato regolarmente occupato, in sede di analisi è stato scartato perché i dati GPS acquisiti erano di pessima qualità. Non abbiamo al momento spiegazione alcuna delle cause che hanno reso i dati acquisiti a Monte Aguzzo (punto 143902) non utilizzabili. Poiché l'analisi della rete ha dato, malgrado gli inconvenienti sopra menzionati, risultati soddisfacenti non si è ritenuto necessario ripetere ulteriori campagne di misura.

Dato che non è stato possibile rilevare contemporaneamente tutti i punti della rete, l'analisi dei dati è stata effettuata ripartendo l'intera rete in tante sotto-reti con almeno due punti comuni, il punto incognito Roma - Gencitev (comune a tutte le sottoreti) e un punto IGM-95 (comune ad almeno due sotto-reti).

Ciò è stato effettuato in sede di analisi in cui il lungo periodo di occupazione è stato suddiviso in sessioni di 3 ore ciascuna, ottenendo più sessioni di misura indipendenti per ogni punto. Le diverse sottoreti analizzate sono evidenziate in figura dalla direzione della freccia della linea di base congiungente i diversi vertici: una prima sottorete è rappresentata dal vertice 150904 (mantenuto fisso alle coordinate IGM-95) e dai punti Roma-Gencitev e 150903 (considerati incogniti); una seconda sottorete è rappresentata dai vertici 150701 (mantenuto fisso alle coordinate IGM-95) e dai punti Roma-Gencitev e 150904 (considerati incogniti); una terza sottorete è rappresentata dai vertici 150902 (mantenuto fisso alle coordinate IGM-95) e dai punti Roma-Gencitev e 150701 (considerati incogniti). I risultati ottenuti dall'analisi delle tre sottoreti sono stati infine compensati in un'unica soluzione in modalità a rete libera poiché tutti i punti risultavano stimati. I risultati della compensazione della rete, mostrati in tabella 1 dimostrano essenzialmente due cose:

-la rete IGM-95 è molto ben determinata; le coordinate dei siti, infatti, sono tra loro consistenti a livello di alcuni millimetri in planimetria e del centimetro quota;

-il sito Roma-Gencitev risulta con la rete IGM-95 allo stesso livello di precisione degli altri punti utilizzati, e può essere considerato, a sua volta, un vertice della rete fondamentale italiana a tutti gli effetti.

I risultati delle stime sono riportati in tabella 1.

Dalla conoscenza sui siti IGM-95 del doppio set di coordinate WGS-84 e GAUSS-BOAGA è stato possibile determinare i parametri di trasformazione tra i due sistemi di riferimento. Riteniamo che tali parametri siano applicabili in tutta l'area romana.

Determinazione della rete di inquadramento primaria

La rete di inquadramento primaria, costituita da 8 punti, è stata rilevata mediante GPS. Scopo di tale rete è stato quello

Tabella 2. Coordinate del vertice della rete di inquadramento primaria

Vertice	Latitudine	Longitudine	quota
RM-Gencitev (fissata)	41°54'15.137"	12°30'26.365"	132.986
Pri01	41°54'08.255"±0.003(m)	12°27'30.119"±0.003(m)	67.226±0.008(m)
Pri02	41°55'11.369"±0.008(m)	12°27'40.709"±0.007(m)	66.685±0.017(m)
Pri03	41°54'37.220"±0.003(m)	12°28'35.711"±0.002(m)	64.762±0.006(m)
Pri04	41°53'57.681"±0.003(m)	12°29'10.245"±0.003(m)	94.381±0.007(m)
Pri05	41°53'46.017"±0.004(m)	12°28'56.549"±0.004(m)	66.974±0.009(m)
Pri06	41°53'27.841"±0.003(m)	12°28'27.513"±0.003(m)	67.087±0.007(m)
Pri07	41°53'29.680"±0.004(m)	12°27'40.782"±0.003(m)	129.016±0.007(m)
Pri08	41°54'08.211"±0.003(m)	12°27'54.618"±0.003(m)	66.709±0.007(m)

di realizzare una serie di punti di inquadramento esterni all'area dell'intervento ed atti a consentire il monitoraggio complessivo degli eventuali movimenti all'interno dell'area interessata alle attività del sottopasso.

La rete è mostrata in figura 2 e, come si può vedere dal verso delle frecce delle linee di base congiungenti i diversi vertici, essa è stata emanata dalla stazione permanente di Roma-Gencitev.

Anche in questo caso, nella campagna di misura che è stata effettuata nell'arco di tre giorni, sono stati impiegati quattro ricevitori Leica (due System 200 e due System 300) in modalità di rilievo statica.

La campagna è stata realizzata in modo tale da assicurare che ogni vertice fosse occupato almeno tre volte, con occupazioni non inferiori alle due ore ciascuna. Questo obiettivo è stato centrato per tutti i punti tranne che per il punto pri02 per il quale è disponibile una sola occupazione.

L'analisi della rete è stata fatta con un approccio a stella, vincolando cioè ciascun punto in modo indipendente dagli altri alla stazione permanente e solo a quest'ultima. Tale approccio aveva l'obiettivo di verificare le prestazioni funzionali della stazione permanente nei suoi termini concettuali, in quanto la sua ragione d'essere risiede proprio nella possibilità di garantire l'aggancio di punti indipendenti in un'unica rete rigida. I risultati ottenuti confermano la correttezza di questo approccio. Tutti i punti della rete primaria, dopo la compensazione di rete, risultano essere determinati con uno scarto quadratico medio dell'ordine di 4 mm in planimetria e di 7 mm in quota; il solo punto pri02 mostra uno scarto quadratico medio superiore, di circa 7 mm in planimetria e di 17 mm in quota. In questo caso la compensazione è stata effettuata con un approccio di

vincolo minimo poiché una stazione (Roma -Gencitev) è stata sempre mantenuta fissa alle coordinate ottenute dalla georeferenziazione. I risultati delle stime sono riportati in tabella 2.

Il risultato sul pri02, è da attribuire alla statistica, relativamente povera, acquisita sul punto.

Determinazione della rete di inquadramento secondaria

La rete secondaria è costituita da 25 punti distribuiti in modo uniforme lungo il corso del fiume insistente e limitrofa

Tabella 3. Coordinate del vertice della rete di inquadramento secondaria

Vertice	Latitudine	Longitudine	quota
Roma-Genc	41°54'15.137"±0.001(m)	12°30'26.365"±0.001(m)	132.986±0.003(m)
Sec01	41°55'07.644"±0.002(m)	12°28'14.853"±0.001(m)	69.971±0.003(m)
Sec02	41°54'51.414"±0.002(m)	12°28'13.640"±0.002(m)	70.306±0.004(m)
Sec03	41°54'35.401"±0.002(m)	12°28'20.678"±0.002(m)	69.062±0.006(m)
Sec04	41°54'18.278"±0.001(m)	12°28'26.826"±0.001(m)	67.311±0.003(m)
Sec05	41°54'10.058"±0.002(m)	12°28'16.903"±0.001(m)	67.721±0.003(m)
Sec06	41°54'06.701"±0.002(m)	12°27'59.380"±0.002(m)	66.651±0.005(m)
Sec07	41°54'04.484"±0.002(m)	12°27'51.695"±0.002(m)	67.960±0.004(m)
Sec08	41°53'59.480"±0.002(m)	12°27'49.718"±0.002(m)	67.888±0.004(m)
Sec09	41°53'45.735"±0.002(m)	12°27'56.979"±0.001(m)	67.413±0.003(m)
Sec10	41°54'18.504"±0.003(m)	12°28'10.345"±0.002(m)	65.331±0.006(m)
Sec12	41°53'58.889"±0.003(m)	12°27'38.054"±0.002(m)	82.479±0.006(m)

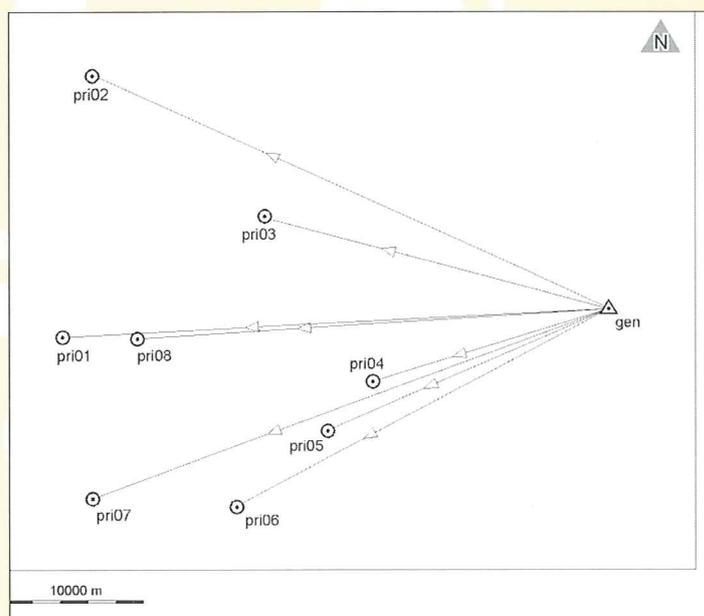


Figura 2. Rete di inquadramento primaria

all'area dove è prevista la realizzazione del sottopasso.

Tali punti sono stati in parte rilevati mediante GPS e in parte mediante rilievo tradizionale poiché l'area in oggetto presenta molti ostacoli alla visibilità dei satelliti, rappresentati dalle costruzioni e in particolare, in prossimità del fiume, dalla presenza di alberi d'alto fusto che, dato il periodo in cui è stato effettuato il rilievo (luglio 1996), erano in piena vegetazione. Si è quindi stati costretti ad applicare una modalità mista di rilievo della rete; dove era possibile, come ad esempio sui ponti o in altri luoghi aperti, il rilievo è stato effettuato mediante GPS; dove invece la visibilità dei satelliti risultava limitata fortemente si è effettuato un rilievo tradizionale appoggiato sui capisaldi di rete secondaria rilevati mediante GPS.

In particolare è stato possibile rilevare, mediante GPS, 11 dei 25 punti previsti nella rete secondaria, mentre gli altri che era necessario localizzare lungo la sponda del fiume sono stati osservati in modo tradizionale.

Si osservi che, come nel caso della rete primaria, ciascun punto è stato occupato più di una volta cosicché tutti i punti risultano sovradeterminati con determinazioni in sottorete tra loro indipendenti.

La modalità del rilievo è stata identica a quella della rete primaria ad eccezione della durata delle occupazioni che è stata più breve, circa 1 ora per ogni occupazione.

Nel caso della rete secondaria non tutti i punti sono stati emanati direttamente dalla stazione permanente. Alcuni punti, infatti, sono stati emanati in modo indiretto utilizzando come punti di riferimento dei punti precedentemente determinati rispetto alla stazione permanente nell'analisi di altre sottoreti indipendenti.

Il fatto di variare, a seconda della sottorete analizzata, il punto di emanazione ha consentito anche in questo caso di effettuare una compensazione di rete applicando un approccio a rete libera; quindi tutte le stazioni, compresa Roma-Gencitev, sono state stimate di nuovo nella rete secondaria.

I risultati, a valle dell'analisi di compensazione, sono parti-

colarmente incoraggianti mostrando degli errori di 2, 3 mm in planimetria e 4, 5 mm in quota. I risultati delle stime sono riportati in tabella 3.

Conclusioni

L'esperienza descritta in questa breve nota costituisce un banco di prova importante per l'impiego del GPS nelle applicazioni topografiche di alta precisione soprattutto perché applica con successo un concetto nuovo di realizzazione di punti fiduciali di riferimento.

La realizzazione di punti fiduciali mediante la messa in opera di un ricevitore GPS permanente trasferisce, anche nel campo professionale, una esperienza già condotta con successo in campo scientifico.

Uno dei principali vantaggi, per le applicazioni professionali, si traduce in una maggiore produttività nel rilievo GPS. Infatti, se i dati di tali siti fossero disponibili, insieme alle monografie del sito stesso, i professionisti non avrebbero la necessità di impegnare uno dei propri ricevitori GPS per acquisire dati sul punto di riferimento (che per definizione deve essere un punto di coordinate note), ma potrebbero utilizzare tutto il parco ricevitori a loro disposizione (come effettuato nel progetto qui descritto) per rilevare i punti incogniti.

Un ulteriore vantaggio per l'USGC è rappresentato dal fatto che il ricevitore permanente costituisce un punto di riferimento univoco e IGM-95 compatibile, anche per i futuri rilievi che l'Ufficio dovesse effettuare nell'ambito delle sue attività istituzionali; tale punto di riferimento è utilizzabile in modo efficiente anche a distanze di un ordine di grandezza superiori a quelle dell'attuale progetto.

I risultati ottenuti dimostrano, ancora una volta, le potenzialità del GPS nel rilievo geodetico plano-altimetrico di alta precisione.

Il progetto ha anche rappresentato per l'autore, un banco di prova sul campo della strumentazione e di un S/W della Leica.

Le prestazioni dei ricevitori, sia quello permanente che quelli mobili, sono state soddisfacenti. I risultati ottenuti in termini di precisione (sqm) sono stati anche migliori di quelli dichiarati ufficialmente dalla casa costruttrice. Si noti al riguardo che l'analisi dei dati GPS è stata effettuata con un S/W SKI distribuito dalla Leica, che oltre a confermarsi un S/W molto amichevole e semplice nell'uso si è dimostrato anche molto efficiente.

n Marco Fermi

NOTA BIOGRAFICA

Il Dott. Marco Fermi lavora fin dal 1985 nel campo della Geodesia spaziale e dal 1988 si occupa, in particolare, di GPS. Attualmente è il responsabile del supporto scientifico ed ingegneristico fornito dalla Nuova Telespazio S.p.A. all'Agenzia Spaziale Italiana nell'ambito della gestione del Centro di Geodesia Spaziale di Matera. Inoltre da alcuni anni effettua attività di studio e supporto tecnico per l'impiego del GPS nelle applicazioni topografiche. Collabora al progetto Gencitev come consulente con il compito di progettare e coordinare il rilievo GPS ed effettuare l'analisi dei dati e il calcolo delle trasformazioni di coordinate tra WGS-84 e GAUSSBOAGA.

L'uso del GPS nel rilievo catastale

Geometri lunigiani a convegno per una prima riflessione sul GPS in ambito catastale.

L'iniziativa, già annunciata sul precedente numero di GEOmedia, si è svolta il 15 e 16 maggio scorsi a Pontremoli (MS), città storica e sede di noti premi letterari, nella suggestiva cornice del Castello del Piagnaro (sede del singolare Museo delle Statue Stele).

Il convegno è iniziato con una prima parte folta di interventi tra cui quello dell'Onorevole Ferri attuale Sindaco di Pontremoli e quello del Presidente del Consiglio Nazionale dei Geometri ed è proseguito con la seconda giornata dedicata agli aspetti tecnici e d'impiego pratico della tecnologia GPS.

L'incontro si è distinto anche per la presenza sia di professionisti che di studenti del locale ITG "Paolo Belmesseri", promotore delle due giornate di riflessioni sul GPS.

Tra le presenze numerosi soci A.S.I.T., professionisti e cultori della materia, che danno motivo di credere che vi sia una particolare attenzione verso il tema trattato.

Terminata la sessione di apertura, il convegno è proseguito con la relazione dell'Ing. Luciano Surace, dal titolo "La georeferenziazione dell'informazione territoriale", e quella dell'Ing. Claudio Fabrizi, che ha parlato di un tema di estrema attualità: "Metodologie di impiego del GPS nell'ambito delle reti catastali".

Le relazioni, estremamente apprezzate dal pubblico, hanno rappresentato un momento di utile riflessione sullo stato dell'arte, delle questioni catastali e delle infrastrutture geodetiche e topografiche che dovrebbero far parte del supporto primario alle nuove cartografie e data base geografici dell'era dei GIS per la gestione del territorio.

L'ing. Surace ha richiamato l'attenzione dei partecipanti sull'opportunità di rafforzare il ruolo dei geometri in questa nuova era della geomatica, sulla necessità di una conoscenza del territorio precisa e costante, tale da evitare tragedie come quella di Sarno, e sull'importanza dell'integrazione dei dati e della georeferenziazione delle informazioni territoriali.

L'ing. Fabrizi ha invece tenuto una lunga relazione sullo stato dei lavori in ambito catastale, fornendo le necessarie delucidazioni su una materia al momento ancora confusa, come la rete primaria e dei fiduciali che dovevano essere determinati ex novo attraverso l'impiego di tecniche GPS. Ben note a tutti sono le difficoltà in cui versano alcune gare di appalto per l'incapacità tecnica ed economica dimostrata anche da aziende di primaria importanza nazionale.

La relazione di Fabrizi, oltre a soffermarsi su questo kaffiano problema, ha portato un po' di chiarezza sulle varie attività in corso di realizzazione all'interno del Dipartimento del Territorio, come il progetto della Banca Dati Centralizzata dei punti fondamentali di riferimento (in pratica una prima banca dati dei trigonometrici IGM, Catasto, Istituto Idrografico, etc.), lo studio e la sperimentazione di diverse metodologie di approccio per la georeferenziazione in ambito catastale di fabbricati rurali di modesta entità ed i molti altri progetti che l'apparato tecnico del dipartimento ha pianificato come attività primarie.

Buona parte della relazione è stata dedicata al GPS e sono state analizzate le diverse modalità operative che interesseranno le procedure catastali afferenti l'ambito applicativo per i frazionamenti e le introduzioni in mappa.

Da questo punto di vista le idee di base sono già abbastanza chiare, ma stentano a decollare sia i numerosi progetti più volte annunciati di collaborazione tra il catasto e i professionisti, sia le normative necessarie ad introdurre realmente i metodi GPS tra le operazioni standard che i professionisti in ambito catastale applicano tutti i giorni.

La sensazione generale è che siamo ancora una volta di fronte a scelte di politica generale di dubbia chiarezza, dettate ora dall'emergenza dei tributi sugli immobili e ora da altre emergenze, con un evidente allocazione di risorse in ambito catasto urbano, e un ignorare ancora una volta gli aspetti generali dell'infrastruttura di base del catasto italiano, quali le reti primarie e dei fiduciali, e in generale la cartografia.

(fonte: redazionale)