

## GPS sistemi di riferimento e cartografia

■  
■  
■

Due problemi fondamentali sui quali dovrà lavorare nei prossimi anni la comunità scientifica internazionale sono la definizione di un sistema di riferimento unificato per le quote che vada oltre i confini nazionali e la trasformazione dai sistemi di riferimento locali al riferimento globale WGS84 (ed alle sue realizzazioni) sia per i prodotti geodetici che per quelli cartografici.

La posizione *geografica* di un punto sulla Terra può essere definita come la sua posizione relativa ad una superficie di riferimento utilizzata in sostituzione della reale forma della Terra. Le superfici di riferimento più spesso utilizzate sono la sfera, l'ellissoide biassiale ed il geoide (superficie equipotenziale del campo gravitazionale della Terra). Le prime due hanno una definizione puramente geometrica e sono alternative, la terza ha una definizione fisica ed è associata alle altre per la determinazione più utilizzata delle quote. La posizione è solitamente espressa per mezzo di una coppia di coordinate curvilinee come la latitudine e la longitudine della proiezione del punto sulla sfera o sull'ellissoide e dell'altezza del punto rispetto al geoide.

La determinazione delle posizioni è stata dunque tradizionalmente scissa in due componenti: verticale e orizzontale. Ciò ha implicato che nel contesto classico sono definiti due sistemi di riferimento geodetico, uno altimetrico ed uno planimetrico.

La superficie fisica della Terra è, come ben noto, molto vicina alla superficie matematica di un ellissoide di rotazione, cioè un ellissoide biassiale di forma e dimensioni assegnate attraverso due parametri; la posizione spaziale è poi de-

finita attraverso sei parametri. Il complesso degli otto parametri costituisce il datum geodetico.

Una superficie di riferimento deve avere in linea di principio due caratteristiche: essere matematicamente trattabile ed essere fisicamente individuabile con facilità. La seconda caratteristica è riscontrabile nelle superfici equipotenziali del campo della gravità, in ogni punto ortogonali alla direzione del filo a piombo; il geoide, che è una di queste superfici, non possiede però la prima caratteristica, che è invece propria dell'ellissoide biassiale. Da ciò è discesa storicamente la dicotomia tra superficie ellissoidica, matematicamente trattabile con facilità, non individuabile fisicamente e senza significato fisico, cui affidare il posizionamento *planimetrico*, e superficie geoidica, fisicamente riproducibile e fisicamente significativa, ma matematicamente intrattabile in forma chiusa, cui delegare il compito di riferimento fondamentale per le quote.

Oggi con le determinazioni satellitari lo scenario è profondamente mutato: in geodesia satellitare i sistemi di coordinate sono per loro natura globali, geocentrici e tridimensionali, poiché il moto dei satelliti fa riferimento al centro di massa della Terra. Le misure terrestri sono invece per loro natura locali e sono normalmente riferite a sistemi locali. Una prima analisi potrebbe indurre ad ipotizzare, proprio alla luce di questi mutamenti, un facile superamento della dicotomia storica tra geoide ed ellissoide: purtroppo l'unificazione dei sistemi di riferimento planimetrico ed altimetrico è possibile solo quando non interessi una caratteristica non esplicitamente indicata tra le due condizioni prima esposte (trattabilità matematica e individuabilità fisica): la significatività fisica. Esistono vasti campi di applicazione (pensiamo al monitoraggio dei movimenti crostali o, in campi assai più ristretti, a quello di grandi strutture) in cui tale condizione è verificata ed in tal caso l'ellissoide biassiale geocentrico garantisce, solo esso e solo ora con l'avvento delle metodologie satellitari, facile trattabilità matematica e facile individuabilità fisica, cioè facile e affidabile riproducibilità, attraverso la diretta e precisa determinazione di coordinate geocentriche (cartesiane o ellissoidiche). Sta in ciò il poderoso salto di qualità nel passaggio dagli ellissoidi locali ad un

ellissoide geocentrico.

Nella maggior parte delle applicazioni è però necessaria una terza caratteristica, la significatività fisica, che in questo contesto vuol dire la capacità dell'informazione di posizione di denunciare al meglio possibile le differenze di potenziale della gravità. Questa caratteristica non è posseduta dalle coordinate fornite dai metodi di posizionamento satellitare, perché i sensori di posizione, cioè i satelliti, per altro troppo lontani dalla superficie terrestre per risentire delle variazioni del campo della gravità nella misura che a noi interessa, forniscono all'utente finale solo un'informazione geometrica.

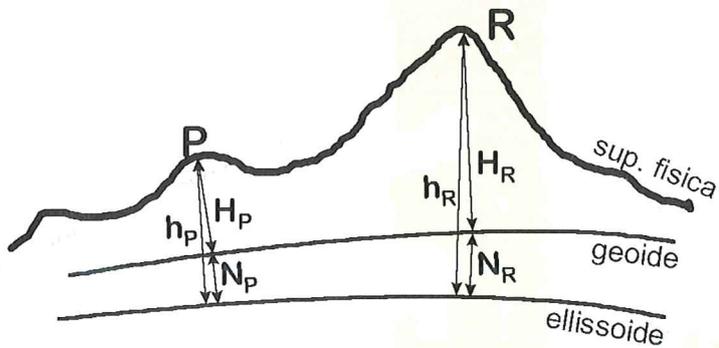
Ecco dunque che, con diverse motivazioni, resta al momento immutata l'esigenza del geoide cui riferire la posizione altimetrica e dell'ellissoide, cui riferire quella planimetrica; ma di un solo geoide e di un solo ellissoide, cioè di superfici globali.

Con la crescita delle applicazioni riferite ad osservazioni satellitari, il sistema di riferimento globale assume infatti una importanza sempre maggiore sia nel settore della navigazione terrestre, marittima ed aerea, che nel campo cartografico e geodetico. Soprattutto una sua corretta realizzazione consente di poter mettere in relazione dati riferiti a sistemi di riferimento locali riducendoli tutti ad un sistema comune: sostituendo tanti sistemi di riferimento locali con uno globale sarà possibile far uso in maniera semplificata e soprattutto inequivoca sia di prodotti cartografici che geodetici.

L'avvento della cartografia numerica e del posizionamento satellitare impongono dunque una revisione dei sistemi di riferimento in uso e la loro sostituzione con un unico sistema appropriato, completo e di immediata utilizzazione.

### La georeferenziazione

La definizione di superfici di riferimento uniche per tutta la Terra è stata in passato di scarso interesse e di difficile realizzazione prima dell'avvento dei sistemi di posizionamento satellitare, a causa del carattere essenzialmente locale delle tecniche di rilievo classiche. Per questo motivo ci troviamo oggi ad avere nel mondo molti sistemi geodetici locali definiti storicamente con l'intento di ot-



Rappresentazione  
schematica  
delle superfici  
di riferimento

tenere una buona approssimazione unicamente nelle aree di interesse, articolati in due superfici di riferimento definite in maniera diversa in ogni nazione: un geoida e un ellissoide locali.

I sistemi geodetici locali impiegati in geodesia e cartografia prima dell'avvento dei sistemi satellitari sono basati su ellipsoidi orientati in modo da approssimare bene localmente la superficie geoidica. L'esigenza di avere Sistemi di Riferimento sempre più estesi è andata crescendo nel corso degli ultimi decenni. Già nei primi anni '50 era nata l'idea di istituire un sistema di riferimento unico per tutto il globo, a cui poter riferire i prodotti cartografici, geodetici e gravimetrici: sono intuitivi i molteplici vantaggi, derivanti dal poter utilizzare un unico sistema di coordinate per tutta la Terra.

L'avvento della geodesia satellitare ha reso poi indispensabile l'adozione di riferimenti unici e geocentrici che fossero in accordo con il moto dei satelliti che, così come le traiettorie dei missili intercontinentali, è riferito al centro di massa della Terra. Negli ultimi decenni molti dati di posizione di elevata precisione si sono accumulati, sono state completate poligonali di estensione transcontinentale, determinate posizioni con metodi satellitari ed interferometrici, deviazioni della verticale con metodi astrogeodetici e sono soprattutto disponibili grandi quantità di misure gravimetriche su scala mondiale. Tutti questi fattori combinati hanno reso possibile definire e realizzare un nuovo sistema di riferimento di applicabilità mondiale e con origine coincidente con il centro di massa della Terra. Un sistema orientato a tale scopo deve essere geocentrico e solidale

con la terra. Tale sistema è denominato ECEF, acronimo di Earth-Centered, Earth-Fixed: è geocentrico poiché il centro del sistema coincide con il centro di massa della Terra; solidale nel senso che il sistema è "fissato" alla Terra e quindi la segue nei suoi grandi moti.

I primi sistemi ad avere queste caratteristiche, e quindi denominati mondiali, sono stati sviluppati dal Dipartimento della Difesa Americano. Poiché la rapida evoluzione tecnologica ha reso migliorabili, alla luce delle nuove scoperte, le definizioni e le realizzazioni, siamo passati, nel giro di pochi anni, dal capostipite WGS60 al WGS66 ed al WGS72 che costituiscono modelli sempre più attendibili della realtà fisica terrestre, fino al WGS84. Il sistema geodetico mondiale WGS 84 è il sistema di riferimento adottato nel posizionamento mediante satelliti GPS.

Nel 1988 il Servizio Internazionale per la Rotazione Terrestre (IERS) ha definito un nuovo sistema di riferimento convenzionale terrestre, denominato ITRS (IERS Terrestrial Reference System) e praticamente coincidente con il WGS84. La sua origine coincide con il centro di massa della terra, l'asse Z del sistema contiene l'Origine Convenzionale Internazionale (CIO), l'asse X è diretto verso il meridiano zero (Greenwich) e l'asse Y completa una terna cartesiana destrorsa. Lo IERS pubblica annualmente una realizzazione del sistema, denominata ITRF (IERS Terrestrial Reference Frame) con riferimento all'anno di validità (es. ITRF92). Ciascuna di queste realizzazioni del sistema consiste in un set di coordinate e di velocità dei vertici delle reti mondiali permanenti che contribuiscono all'IERS con determina-

zioni di differenti tipi. La sottocommissione dell'IAG (Associazione Internazionale di Geodesia) per la realizzazione del sistema di riferimento europeo (EUREF) ha poi definito, per il continente europeo, il Sistema di riferimento terrestre europeo (ETRS), ne ha curato la realizzazione (ETRF) nel 1989 e ne produce gli aggiornamenti annuali, comprensivi di integrazioni ed estensioni. Il sistema EUREF è la realizzazione europea del sistema WGS84.

Il monitoraggio continuo di satelliti orbitanti, prima di tutti quelli della costellazione GPS, indicano che l'attuale centro di massa della terra è spostato di circa 2 m rispetto a quello assunto nel WGS84. Inoltre i moti della placca tettonica ed altri fattori di origine astronomica conferiscono piccole velocità traslazionali e rotazionali ai punti delle stazioni di controllo. Le moderne tecniche di misura consentono di individuare questi moti che generalmente sono minori di 10 cm per anno.

Nel sistema IERS il continente europeo mostra un movimento annuo di circa tre centimetri in direzione nord-est, una quantità che potrebbe essere un disturbo per alcune applicazioni pratiche. Per evitare impraticabili variazioni annue nelle coordinate, l'EUREF ha adottato un sistema europeo, il cosiddetto ETRS89, che si muove insieme alla parte continentale stabile verso NE; ciò è stato fatto mantenendo fisse al valore 1989.0 le coordinate dei punti delle stazioni europee che contribuiscono all'IERS. In analogia all'IERS, la sottocommissione EUREF pubblica ogni anno nuove e più precise realizzazioni dell'ETRS89, chiamate ETRF89, ETRF90, etc. La rete IGM95 è inquadrata nel sistema ETRS89 e può essere considerata il raffittimento italiano di quella realizzazione.

Con i metodi di posizionamento satellitare si ottengono coordinate cartesiane in una terna geocentrica o coordinate geografiche riferite all'ellissoide geocentrico. Per trasformare tali coordinate nel sistema locale relativo alla zona in cui si sta operando è necessario ricorrere ad algoritmi con parametri determinati probabilisticamente, per poter adattare i risultati delle misure satellitari (in sé molto precisi) alle inevitabili deformazioni della rete che realizza il sistema locale.

## La trasformazione tra sistemi di riferimento planimetrici

La trasformazione fra due diversi sistemi di riferimento locali in una stessa area viene spesso eseguita con metodi empirici o comunque con criteri semplificati, basati sul fatto che le due superfici di riferimento, seppur diverse, sono molto vicine tra di loro, e la principale differenza è quella di orientamento.

Tale ipotesi viene meno nel caso della trasformazione dal sistema geocentrico globale come il WGS84 a un sistema geodetico locale: le due superfici ellissoidiche in questo caso sono notevolmente distanziate (di decine di metri) ed è necessario ricorrere ad algoritmi di trasformazione più generali.

Il cambio di datum è prepotentemente salito alla ribalta con il GPS. In pratica, è necessario che il rilievo GPS comprenda alcuni punti noti nel "vecchio" sistema geodetico in cui il rilievo stesso va inquadrato; è così possibile calcolare i parametri della trasformazione validi per la zona. Per effetto delle distorsioni non eliminabili che caratterizzano le reti geodetiche (specie quelle meno recenti), la stima dei parametri risulta più o meno approssimata. La trasformazione di datum è quindi fonte di incertezze che si sovrappongono a quelle di misura (molto basse con il GPS).

Il modello teorico della rototraslazione (trasformazione a sei parametri), che funzionerebbe perfettamente se le reti fossero prive di errori, deve essere modificato, introducendo parametri aggiuntivi (in generale un fattore di scala) che permettano di modellare in qualche modo le imperfezioni delle reti. La rototraslazione pura è applicabile solo quando la rete preesistente, in cui il rilievo GPS viene inserito, presenta distorsioni modeste, altrimenti l'approssimazione diventa inaccettabile; essa è invece da applicare, ad esempio, quando la finalità primaria della rete non sia cartografica ma ingegneristica (progettazioni e costruzioni di infrastrutture) e necessita quindi di sfruttare a pieno la precisione del GPS.

Per ottenere una migliore approssimazione è necessario modellare in qualche modo le distorsioni delle reti. Il procedimento più frequentemente adottato consiste nell'introdurre un fattore di scala (settimio parametro) nella trasformazione. La rototraslazione con fattore di

scala varia la scala complessiva e l'orientamento del rilievo per adattarlo alla rete in cui viene inserito. Nel caso dei rilievi GPS da inserire in reti preesistenti, che hanno quasi sempre una precisione inferiore, la trasformazione comporta quindi un degrado della precisione delle misure GPS originarie. L'introduzione di un fattore di scala si basa sull'ipotesi di una deformazione relativa tra i due sistemi isotropa e costante per tutta la zona. Se la situazione si discosta da questa ipotesi, il modello riduce la propria validità e le opzioni possibili sono solo due:

- cambiamento di modello con l'introduzione di ulteriori parametri;
- scomposizione della zona in porzioni dove il modello iniziale sia sufficientemente giustificato.

Aumentare il numero dei parametri della trasformazione per cercare di modellare meglio le distorsioni della rete è operazione che va eseguita con cautela e cercando di non perdere di vista il significato geometrico della trasformazione stessa. In sostanza, bisogna evitare una "sovrapparametrizzazione", che porta solo apparentemente a buoni risultati. Aumentando il numero dei parametri da stimare (passando ad esempio da espressioni lineari a formule polinomiali) i residui sui punti noti utilizzati per la stima dei parametri divengono in genere minori; non è detto, però, che il modello si comporti altrettanto bene per altri punti non considerati nel calcolo dei parametri. Lo sfruttamento delle metodologie GPS nel contesto dei riferimenti locali è possibile dunque solo eseguendo un passaggio tra sistemi che, anche se condotto nel modo migliore, peggiora la qualità delle determinazioni realizzate in WGS84.

## I sistemi di riferimento altimetrici

Per quanto riguarda il sistema di riferimento altimetrico viene adottata internazionalmente la superficie geoidica: il geoide è definito come la superficie equipotenziale del campo di gravità usata come riferimento delle altezze ortometriche.

Per l'altimetria tradizionalmente topografi e cartografi hanno cercato di semplificare il problema della superficie di riferimento usando il livello medio del mare come definizione di quota

zero, poiché la superficie del mare è disponibile un po' dovunque. Il l.m.m. è determinato con osservazioni mareografiche su un punto fondamentale per un periodo sufficientemente lungo in modo da depurare gli effetti di marea.

La definizione di un geoide locale è un'operazione relativamente semplice poiché, proprio per il modo in cui esso è definito, vi è un solo "grado di libertà" nella scelta: per cui si chiama *geoide locale*, per una certa area di interesse, quella superficie equipotenziale del campo della gravità passante per un punto prestabilito dell'area stessa (normalmente un punto della linea di costa più vicina, posto all'altezza del livello medio del mare in quel punto). E' a partire da quel punto, assunto come riferimento fondamentale di quota zero, che si provvede, con i metodi propri della *livellazione geometrica*, integrati da misure gravimetriche, ad attribuire una *quota geoidica* a ciascuno dei punti (detti *capisaldi*) delle linee di una rete che si estende su tutto il territorio. Il sistema di riferimento altimetrico è realizzato dalla rete di livellazione. Rimane così definito, come conseguenza immediata della procedura di quotazione, anche il geoide locale, poiché la rete di capisaldi, altimetricamente determinati rispetto ad esso, contribuisce ad individuarlo, lungo i profili delle sue linee, rispetto alla topografia del terreno.

Purtroppo il l.m.m. è uno standard solo nominale: esso non è una superficie semplice. Le anomalie di morfologia e densità della crosta terrestre producono lievi variazioni del campo della gravità, risultanti in variazioni di curvatura del geoide. Poiché anche la superficie del mare risente del campo della gravità, anche il l.m.m. ha lievi colline e piccole valli, come la terraferma, anche se molto più attenuate. A secondo di dove ci troviamo il l.m.m. può essere più vicino o più lontano dal centro della Terra rispetto ad un altro punto: è per ciò che i datum altimetrici a definizione locale differiscono uno dall'altro. Infatti le quote non beneficiano di una definizione univoca del livello medio dei mari e tutt'oggi non esiste un sistema di riferimento globale per la quota che consenta di unificare e legare tra loro le misure compiute in differenti sistemi. Riferendosi alle misure GPS per la determinazione della quota, è utile ricordare che in un

generico punto la "quota" determinata direttamente dal GPS è l'altezza del terreno rispetto all'ellissoide di riferimento ( $h_p$ ). Per convertire questo dato nell'altezza ortometrica  $H_p$  (sul l.m.m.) occorre sottrarre alla quota ellissoidica l'ondulazione geoidica  $N_p$  rispetto all'ellissoide di riferimento. Una volta che siano note le ondulazioni geoidiche con sufficiente precisione, il problema della trasformazione di quote ellissoidiche in quote ortometriche è essenzialmente risolto. L'approssimazione con cui sono note tali ondulazioni determina in pratica la precisione finale sulle quote geoidiche ottenute.

Le ondulazioni geoidiche su scala mondiale, rispetto all'ellissoide WGS84, variano da +75 m a -104 m. In Italia il geoido è sempre sopra quell'ellissoide con variazioni da + 37 m a + 54 m. Una conoscenza sufficiente del modello di ondulazioni geoidiche consentirà al topografo di avvicinarsi all'obiettivo di usare quotidianamente il GPS per i propri rilievi tridimensionali, anche se ancora, per le applicazioni di alta precisione, restano insostituibili le tecniche classiche di livellazione; in futuro l'approssimazione dei modelli del geoido verrà migliorata, ma sarà sempre difficile tener conto di tutte le irregolarità locali del campo di gravità, cui invece si adatta sempre puntualmente con elevatissima precisione la livellazione geometrica che misura dislivelli fra coppie di superfici equipotenziali.

Generazioni di topografi in tutto il mondo hanno contribuito con la livellazione geometrica all'arduo compito di tradurre il concetto di quota in una quantità misurabile. Ciò ha condotto alla creazione di numerosi riferimenti altimetrici nazionali prima e sovranazionali poi, come la rete europea UELN (United European Levelling Net), compensata nel 1973 e comprendente i Paesi dell'Europa occidentale, ed il progetto della rete EVD (European Vertical Datum) che comprenderà anche molti Paesi dell'Europa orientale. Tutto ciò evidenzia chiaramente una tendenza verso il concepimento e la realizzazione, presumibilmente in pochi anni, di un sistema altimetrico continentale.

### Implicazioni cartografiche

La cartografia è stata una delle prime manifestazioni di civiltà. Essa si è evol-

luta da forme primitive di disegno fino a carte accuratissime e raffinate, dapprima in formato analogico e oggi in forma digitale. Le carte sono storicamente state usate da una vasta gamma di utenti, dalle organizzazioni militari ai servizi di polizia, dalla protezione civile agli enti che gestiscono le risorse naturali e artificiali, da chi si occupa di sviluppo e di pianificazione ai cacciatori ed ai pescatori, dagli alpinisti agli escursionisti e da tanti altri che richiedono continuamente accurate ed aggiornate informazioni territoriali e geografiche. Oggi, con l'aumento vertiginoso delle informazioni che vengono raccolte e rese disponibili in svariate forme di banche dati, il ruolo prevedibile dei sistemi di rilevamento, di rappresentazione e dei sistemi informativi geografici e territoriali è imponente. Tutti coloro che si occupano di tali sistemi evidenziano sistematicamente la necessità di una base geometrica omogenea, estesa a tutto il territorio nazionale. L'omogeneità richiesta si riferisce ovviamente in primo luogo all'adozione di un unico sistema di coordinate. Un efficace ed esplicito sistema di riferimento è dunque strumento indispensabile per un appropriato e corretto uso delle informazioni territoriali.

Io credo che l'Italia sia peraltro uno dei paesi più ricchi di sistemi di coordinate. Fattori contingenti hanno sicuramente determinato questo stato di cose, ma anche la mancanza di una visione globale ritenuta a suo tempo non essenziale, o meglio la persistenza utilitaristica di una visione provinciale dei problemi del rilevamento. La mancanza di standard nelle convenzioni può portare ad errori ed equivoci ad alto rischio e la mancanza di omogeneità nei sistemi di riferimento in uso può indurre ad una visione catastrofica della situazione cartografica nazionale, ma la confusione non è una caratteristica solo italiana. Le considerazioni delle forze armate USA dopo la guerra del Golfo hanno evidenziato che c'è stata una confusione totale su sistemi di riferimento, ellissoidi e reticolati. La lezione principale è stata che bisogna sapere ciò che si fa e che non si può pretendere che ogni utente sia un geodeta.

Altrettanta confusione è riscontrabile tra i sistemi cartografici. I parametri che descrivono compiutamente il sistema di riferimento e la rappresentazione cartografica adottata dovrebbero essere

le informazioni minime di corredo quando lo strumento "coordinate" viene offerto all'utente, sia in forma analogica che digitale. Solo tali parametri consentono di definire univocamente a che cosa le coordinate sono associate nel mondo reale. Purtroppo molte istituzioni e molti istitutori in giro per il mondo non sembrano capaci di fornire tali informazioni ai propri utenti o di impartire questo elementare insegnamento ai propri studenti; forse tentano di trattenere in loro dominio il mistero della conoscenza? No, è meglio piuttosto pensare che accada come per le cose più comuni della vita, che mai ci si chieda come esse abbiano avuto origine, di chi le abbia fatte e con quali mezzi, e di quale travaglio esse siano il frutto; quasi fossero sempre esistite. Sono queste le cose che, per essere le più familiari e indispensabili, non stimolano in noi la molla della sorpresa a sollecitare la curiosità di sapere. Alcune di queste cose sono proprio la carta topografica e le coordinate, che ognuno di noi ha da sempre tra le mani; esse risultano per molti come un diritto acquisito e fondamentale del quale non occorre ricercare l'origine, così come mai ci si preoccupa delle cose più evidenti e naturali.

Oggi è comunque indispensabile l'unificazione dei sistemi di riferimento in modo da parlare tutti un unico linguaggio comune anche nel posizionamento delle informazioni territoriali. Gli utenti hanno la vitale esigenza che le carte portino un reticolato di coordinate piano universalmente accettato e immediatamente utilizzabile e che i sistemi informativi geografici si basino su un sistema di coordinate standard che consenta di correlare le informazioni e di facilitare le comunicazioni.

La disponibilità della rete IGM95, cioè di una fitta rete di vertici noti con elevata precisione nel sistema WGS84, consente di arricchire l'inquadramento cartografico con una caratteristica innovativa e di elevato valore strategico. La rete IGM95 è ora completata su tutto il territorio regionale, è omogenea, ha distribuzione uniforme, è accessibile, ha coordinate WGS84 definitive, e definitivi parametri di passaggio al sistema nazionale. Con lo sviluppo di questo modello praticamente unico, risulta finalmente possibile ed opportuno che tutte le carte riportino un unico sistema di riferimento. Ciò renderebbe possibile e facile

il pieno sfruttamento delle tecniche satellitari non solo presso Enti e aziende di rilievo geotopografico, ma anche a livello di Protezione Civile, di organizzazioni di servizi d'emergenza, di Amministrazioni locali e di singoli professionisti orientati ad applicazioni tematiche e di dettaglio, che necessitano di un sistema di coordinate immediatamente utilizzabile.

La soluzione più semplice, e sicuramente la più economica, consiste nel lasciare tutti i prodotti nel sistema geodetico-cartografico nativo; il computer può, all'occorrenza, convertire in quel sistema le coordinate fornite dal GPS, purché siano disponibili, come lo sono, i relativi parametri di trasformazione. Per rendere poi confrontabili le altezze ellissoidiche osservate con il GPS con le quote ortometriche, la disponibilità di un grigliato affidabile delle ondulazioni geoidiche rispetto all'ellissoide WGS84 e di un semplice programma di interpolazione può agevolmente risolvere anche questo problema. L'aspetto da verificare è se questa sia una soluzione effettivamente soddisfacente, cioè efficace ed efficiente. Non è sicuramente una soluzione efficace per l'uso in tempo reale delle informazioni di posizione provenienti dal GPS, come nel campo della navigazione terrestre, marittima ed aerea, cioè in un contesto dinamico di georeferenziazione di unità mobili. Negli altri campi di applicazione, a noi più congeniali, è una soluzione accettabile, ma non soddisfacente: infatti costringe l'utente a perdere una delle più importanti qualità del GPS, cioè la sua precisione. Nel passaggio dal sistema di riferimento globale a quello locale svanisce almeno per un ordine di grandezza la precisione intrinseca del posizionamento satellitare.

L'alternativa è la conversione preventiva di tutti i nostri prodotti in un sistema comune, cioè nel sistema WGS84. Sebbene si sia portati a pensare che tale alternativa rappresenti la migliore soluzione, è utile esaminarne vantaggi e svantaggi. In primo luogo, essendo il WGS84 il più realistico modello disponibile della figura della terra, la possibilità di un diretto posizionamento delle informazioni tramite GPS rende tutti i prodotti di maggiore valore perché direttamente utilizzabili in tutte le fasi del rilevamento sia statico che dinamico. Una tale impostazione consente la continuità della rappresentazione, negata in presen-

za di differenti sistemi locali, ad esempio nei lavori aventi carattere sovranazionale; minimizza gli errori dell'utente finale che si trova a lavorare con un unico comune sistema di riferimento e non è costretto a trasformare i suoi dati rilevati nel sistema o nei sistemi locali.

Il maggiore svantaggio è sicuramente il costo della conversione, che sarebbe distribuito tra gli utenti nel primo caso e accentrato presso i produttori nel secondo caso. Il primo non sarebbe certo minore, ma solo meno palese ed oltretutto carico di rischi di disomogeneità e di discontinuità spaziale e temporale.

La conversione dei prodotti esistenti da un sistema ad un altro non è una novità: nel passato sono state applicate da differenti enti due strategie fondamentalmente differenti, concepite ambedue per i prodotti analogici, ma facilmente adattabili ai prodotti digitali.

Un metodo, applicato in Italia per introdurre sulla cartografia il sistema ED50, è consistito nel modificare fisicamente il taglio degli elementi cartografici impostandolo su valori interi di coordinate geografiche nel nuovo sistema; metodo lento e dispendioso senza evidenti vantaggi. Il secondo metodo è consistito nel riassegnare ai vertici degli elementi cartografici i nuovi valori che loro competono nel nuovo sistema, accettando valori non interi, ma conservando la porzione di territorio rappresentata in ogni elemento e limitando i cambiamenti ad alcune informazioni alfanumeriche associate all'elemento cartografico. E' sicuramente il metodo migliore e l'unico che conservi una logica di applicabilità nella cartografia numerica.

Per rendere possibile ed agevole riportare coordinate GPS sulle carte la soluzione risiede comunque in un nuovo reticolato cartografico UTM(WGS84). E' dunque necessario e sufficiente calcolare le coordinate geografiche e piane dei vertici degli elementi cartografici, rispettivamente nel sistema WGS84 e nella rappresentazione UTM (WGS84), e riportare sulle carte il reticolato corrispondente.

Senza un tale reticolato, le coordinate rilevate da un ricevitore GPS non possono essere direttamente utilizzate. Le coordinate sono in fondo un indirizzo spaziale: senza di esse siamo persi, ma siamo in crisi anche se le abbiamo e non le possiamo direttamente utilizzare. I ricevitori GPS più semplici costano qualche

centinaio di migliaia di lire. Per i cacciatori o gli escursionisti, sacchi a pelo di buona qualità, tende e zaini costano ciascuno più dell'accesso al moderno sistema di navigazione del dipartimento della difesa da 6 miliardi di dollari! Tuttavia, l'assenza di un sistema standard di coordinate piane limita notevolmente l'uso delle informazioni di posizione fornite da questi ricevitori. Nel futuro prevedibile, il GPS fornirà un'accuratezza metrica entro un limite di costo di poche centinaia di migliaia di lire. Questa è la precisione di una carta topografica in scala 1:5.000. Le unità GPS a basso costo incrementeranno l'uso di carte di tutti i tipi, analogiche e digitali, mentre le carte direttamente utilizzabili in UTM(WGS84) incrementeranno l'uso del GPS. E' quindi importante stimolare i produttori di cartografia ad applicare il reticolato UTM(WGS84) come uno standard. Non tanto tempo fa, un biglietto da visita con un indirizzo Internet era una novità. Oggi è una pratica d'affari consueta. Nell'era dell'informazione le coordinate UTM(WGS84) dovrebbero diventare un indirizzo geospaziale comunemente accettato a completamento degli indirizzi convenzionali. Esso arricchisce di un aspetto bidimensionale ciò che era precedentemente un sistema monodimensionale, accelerando il processo di localizzazione di un'informazione e riducendo l'ambiguità per i fornitori di servizi d'emergenza. È semplicemente un altro aspetto dell'era dell'informazione.

Luciano Surace



Luciano Surace, laureato in Ingegneria Civile nel 1972 presso il Politecnico di Torino, ha conseguito il Dottorato di ricerca in

Scienze Geodetiche e Topografiche nel 1987. È direttore geodetico dell'IGM e redattore del Bollettino di Geodesia e S. A. Membro da molti anni del Consiglio direttivo e del Comitato scientifico della SIFET, autore di oltre 60 pubblicazioni scientifiche su autorevoli periodici italiani e stranieri, ha insegnato Topografia alla Facoltà di Ingegneria di Perugia e Cartografia numerica alla Facoltà di Ingegneria di Firenze.