

Il sistema di riferimento geodetico italiano: un esempio di collaborazione tra CISIS, Università, IGM

Barbarella M. (*), Caporali A. (**), Longhi D. (***), Sansò F. (****)

(*) DICAM-ARCES, Facoltà di Ingegneria, Università di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna

Tel. 051-2093106, Fax 051-2093114, e-mail: maurizio.barbarella@unibo.it

(**) Dipartimento di Geoscienze, Università di Padova, Via Gradenigo 6, 35131 Padova

Tel. 049 8279122, Fax 049 827 9134, e-mail Alessandro.caporali@unipd.it

(***) Regione Abruzzo, Struttura Speciale di Supporto Sistema Informativo Regionale

Via Leonardo da Vinci 6, 67100 L'Aquila, Tel. 0862 363212, Fax 0862 363615

e-mail: domenico.longhi@regione.abruzzo.it

(****) DIIAR, Politecnico di Milano, Polo Territoriale di Como, Via Valleggio 11, 22100 Como

Tel. 031/3327518, Fax 031/3327519, e-mail: fernando.sanso@polimi.it

Riassunto

La gestione delle informazioni geografiche in termini unitari e condivisi richiede di appoggiarsi ad una infrastruttura geodetica moderna, affidabile e aggiornata.

La necessità di interfacciare i Data Base geografici prodotti in Italia con quelli delle altre nazioni, in primis europee, richiede che anche l'infrastruttura geodetica sia integrata nei sistemi utilizzati internazionalmente: da qui la necessità di inquadrarla nei sistemi geodetici di validità mondiale o europea quali ITRS e ETRS89 nelle loro realizzazioni più attuali e opportune.

L'Istituto Geografico Militare ha proposto e realizzato un frame di stazioni permanenti distribuite sul territorio italiano che è stato chiamato Rete Dinamica Nazionale (RDN). Per una piena accettazione di tale Rete come raffittimento della rete europea gestita da EUREF è stata realizzata una collaborazione tra IGM, alcune università (Bologna, Padova, Politecnico di Milano e associati) e il CISIS per effettuare l'elaborazione dei dati della Rete da parte di più Centri di Calcolo con l'utilizzo di più software differenti: l'adempimento di questi i requisiti ha fatto sì che la RDN sia stata accettata da EUREF come raffittimento della rete europea, nel convegno di Firenze del Maggio 2009. Il CISIS si è preoccupato di dare continuità al monitoraggio e al consolidamento della rete e per questo ha finanziato la ripetizione del calcolo di RDN e promuoverà nei prossimi anni un'ulteriore attività di questo tipo, nello stesso quadro operativo.

Lo scopo è quello di pervenire ad una infrastruttura geodetica unitaria italiana entro la quale possano collocarsi le reti NRTK realizzate da Regioni, Ditte e organizzazioni private e questo consentirà agli operatori la disponibilità di un unico Frame condiviso, mano tenuto nel tempo e pienamente compatibile con gli standard europei.

Abstract

The management of geospatial data requires an up-to-date and reliable geodetic infrastructure. The need to interface the Italian Geographic Data Bases with those of other Nations, primarily in Europe, requires the integration of the national geodetic infrastructure in the international context, such as ITRS and ETRS89 and their most recent realizations.

The Istituto Geografico Militare has proposed and materialized a frame of permanent GNSS stations across the Italian territory named Rete Dinamica Nazionale (RDN). To carry out the project as a densification of the EUREF Network, IGM has worked in close cooperation with Universities (Bologna, Padova, Politecnico di Milano and collaborators) and CISIS using different softwares. During the EUREF Symposium of May 2009 in Florence, the RDN was officially accepted as a

realization of ETRS89. CISIS has promoted the continuation of the development of the RDN in terms of maintenance and densification. To this goal CISIS has financed a re-calculation of RDN and is expected to continue to do so in the future. The goal is to make available to the users a geodetic infrastructure to support Real Time networks developed by the Regions, or private Firms. Users are in this way ensured that they represent their position measurements in a common frame of reference, valid across Italy and Europe.

1. Introduzione

La realizzazione, gestione e condivisione di archivi di dati da parte delle P.A. e di tutti gli utenti pubblici e privati di una Nazione richiede la definizione di regole e standard comuni a livello nazionale e internazionale ai quali uniformare i Data Base ma richiede anche una infrastruttura geodetica stabile, monitorata con continuità e condivisa anch'essa a livello europeo.

Il contesto europeo fornisce all'Italia delle guide che sono al contempo preziosi strumenti di lavoro ma anche vincoli ineludibili, tanto sul fronte dei Dati Territoriali quanto in quello dei Sistemi Geodetici.

A fianco degli Enti Cartografici di Stato, nel settore operano per adempiere alle proprie competenze istituzionali le Regioni che hanno dedicato ingenti finanziamenti nel settore della produzione di dati territoriali. In mancanza di una regolamentazione che unifichi i prodotti, le Regioni hanno attivato delle iniziative di coordinamento, che hanno fatto nascere il CISIS (Centro Interregionale per i Sistemi informatici, geografici e statistici). Una delle attività sviluppate dal coordinamento regionale in associazione agli enti cartografici alla presentazione di un DPCM sulla adozione di un nuovo Sistema di Riferimento nazionale:

Lo schema di Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri concernente *Regolamento recante "Adozione del sistema geodetico nazionale"*, approvato dal Comitato per le regole tecniche sui dati territoriali delle pubbliche amministrazioni, istituito con l'articolo 59 del "Codice dell'Amministrazione Digitale" (D.Lgs. n. 82 del 7 marzo 2005 come modificato dal D.L. 13 agosto 2010) nella seduta del 19 novembre 2009 e successivamente dalla Conferenza Unificata nella seduta dell'8 luglio 2010 è attualmente nella fase di coordinamento tra la Presidenza del Consiglio dei Ministri, la Commissione Europea, e la fase di registrazione presso la Corte dei Conti.

Il CISIS è intervenuto con una azione di coordinamento e di finanziamento a favorire la collaborazione tra IGM e varie Università italiane che ha portato alla accettazione da parte dei Referenti europei di una rete di stazioni Permanenti quale Raffittimento Italiano della Rete Europea EPN, dando luogo ad un frame che consente la piena assunzione anche in Italia del Sistema Geodetico Europeo.

1.1 La Direttiva Europea INSPIRE

Il tema dell'Infrastruttura Nazionale dei Dati Territoriali è divenuto, negli ultimi tempi, di particolare attualità, anche in conseguenza delle indicazioni contenute nella recente Direttiva INSPIRE (INfrastructure for SPatial INfoRmation in Europe). Questa Direttiva si propone di stabilire una Infrastruttura per l'informazione spaziale in Europa per politiche ambientali e attività che hanno un impatto sull'ambiente.

INSPIRE è basata su infrastrutture per l'informazione spaziale che sono create e mantenute dagli Stati Membri per mezzo di Regole Implementative (Implementing Rules or IR). INSPIRE non richiede la raccolta di nuovi dati. Tuttavia dopo un periodo di due anni gli Stati Membri devono rendere disponibili i loro dati secondo le Regole Implementative. Queste riguardano: metadata, interoperabilità dei tematismi spaziali descritti negli Annexes I, II, III della Direttiva, servizi anche in rete, condivisione di dati e servizi, monitoraggio e rapportistica.

Interoperabilità in INSPIRE significa la possibilità di combinare dati spaziali e servizi da fonti differenti in Stati Europei in modo coerente senza particolari sforzi umani o tecnologici, tipicamente mediante Internet. L'interoperabilità viene conseguita o armonizzando dati esistenti, o

trasformandoli mediante specifici servizi disponibili all'interno di INSPIRE. Ci si aspetta un notevole risparmio di tempo per gli utenti, quando lavorano su dati confacenti INSPIRE.

Nel caso specifico dei Sistemi di Riferimento (Annex 1) la Direttiva è stata preparata con il metodo della condivisione e del consenso. Le parti interessate, registrate come Spatial Data Interest Community (SDIC) o Legally Mandated Organisation (LMO) hanno avuto l'opportunità di segnalare i requisiti utente e materiale di riferimento, proporre esperti per lo sviluppo delle specifiche e partecipare al processo di revisione. Il Gruppo di lavoro tematico responsabile per lo sviluppo delle specifiche era composto di esperti di Geodesia provenienti da Portogallo, Slovenia, Francia, Germania, Italia, Svezia, Inghilterra e Olanda, tutti da tempo impegnati in attività connesse a stabilire metodi omogenei di georeferenziazione in Europa.

Pietra miliare per lo sviluppo delle specifiche è stata la definizione della Direttiva sui sistemi Coordinati di Riferimento come "Systems for uniquely referencing spatial information in space as a set of coordinates (X, Y, Z) and/or latitude and longitude and height, based on a geodetic horizontal and vertical datum".

Come Datum viene specificato il Datum del European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89) in aree all'interno del suo scopo geografico, altrimenti il Datum del International Terrestrial Reference System (ITRS). Per la componente verticale l'European Vertical Reference System (EVRS) sarà usato per esprimere quote collegate alla gravità, all'interno dello scopo geografico di EVRS.

Per quote collegate alla gravità si intende che la compensazione di linee di livellazione riguarda i numeri geopotenziali (prodotto della quota per la gravità locale) e non le semplici quote. Infatti si può dimostrare che due punti sono allo stesso livello solo se hanno lo stesso numero geopotenziale, e non se hanno la stessa quota. Nel passato questo aspetto è stato trascurato, poiché localmente le variazioni di gravità sono sovente sufficientemente piccole per essere trascurabili. Dovendo ora considerare un sistema di riferimento verticale su scala europea, occorre adottare i numeri geopotenziali, quantomeno per le reti fondamentali di livellazione di alta precisione.

Per quanto riguarda le Proiezioni cartografiche viene prescritto:

- Lambert Azimuthal Equal Area (ETRS89-LAEA) per analisi spaziali pan-Europee nelle quali si richiede assenza di deformazione areale;
- Lambert Conformal Conic (ETRS89-LCC) per cartografia pan-Europea conforme a scala minore o uguale a 1:500,000;
- Transverse Mercator (ETRS89-TMzn) per cartografia pan-Europea conforme a scala maggiore di 1:500,000;

1.2 L'applicazione di INSPIRE in Italia

Come in molte Nazioni Europee, anche in Italia l'informazione territoriale fa capo a numerosi Enti che raccolgono, producono o gestiscono dati territoriali in funzione delle proprie competenze istituzionali, con conseguente parcellizzazione dell'informazione geografica. L'obiettivo generale da perseguire attraverso l'implementazione dell'Infrastruttura nazionale è quello di creare un sistema di conoscenza e condivisione dei dati territoriali tenendo conto dei principi contenuti nella Direttiva INSPIRE e del contesto tecnologico nazionale, a salvaguardia degli investimenti effettuati. Occorre uno sforzo comune per assicurare l'allineamento tra le specifiche dei dati territoriali prodotti in Italia (DB topografici, catasto nazionale strade etc.) e le IR su tali set di dati con i relativi servizi (visualizzazione, download, trasformazione/conversione, collegamento/accesso ad altri servizi).

La partecipazione al processo di condivisione delle attività INSPIRE, nelle diverse fasi di revisione delle IR, attraverso l'analisi dei documenti dei Drafting Teams (DT) e la conseguente formulazione di commenti al fine di:

- seguire l'andamento e l'evoluzione delle specifiche INSPIRE e monitorare lo stato di allineamento delle implementazioni nazionali, per tutte le componenti dell'infrastruttura
- individuazione, per ciascuna categoria tematica prevista negli allegati I, II e III della Direttiva, e con l'eccezione dei primi due tematismi dell'Annesso 1 (Sistemi di coordinate e grigliati geografici) dei dataset nazionali rilevanti (e della relativa Amministrazione di riferimento) che dovranno poi essere resi disponibili secondo le disposizioni di esecuzione, nei modi e tempi previsti dalla stessa Direttiva.

L'obiettivo è quello di definire le Regole Implementative nazionali in ottemperanza alla Direttiva europea, tenendo presente le prescrizioni legislative, le problematiche dell'informazione territoriale in Italia e le attività di standardizzazione in corso.

Dal punto di vista del sistema geodetico di coordinate, si tratta di stabilire se si dispone in Italia di un sistema di coordinate spaziali conforme a ETRS89, e di un sistema di coordinate verticali conforme a EVRS.

1.3 Sistema di riferimento globale, europeo, nazionale

Dall'avvento dei sistemi di posizionamento GNSS si è assistito ad una enorme diffusione delle stazioni permanenti su scala planetaria che ha dato un fortissimo impulso alle attività internazionali indirizzate al mantenimento di un sistema di riferimento geodetico globale (ITRF), gestite dall'Associazione Internazionale di geodesia (IAG) attraverso lo IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service).

I processi dinamici del pianeta rendono variabili le coordinate delle stazioni GNSS che realizzano l'ITRF a livello dei centimetri per anno.

Ciò naturalmente rende poco pratico il posizionamento per le applicazioni di tipo tecnico alla cartografia ed al controllo del territorio. Le National Mapping Authorities (NMA), che in Europa sono riunite nel Consorzio EuroGeographics, sono unanimi nel chiedere l'introduzione di sistemi di riferimento nei quali le coordinate dei vertici siano il più possibile stabili nel tempo. La moltiplicazione poi di servizi di posizionamento nazionali il cui utilizzo è basato sul "posizionamento relativo" che richiede strumenti e SW assai più economici e di facile uso, accentuerebbe ancora di più il fenomeno se le stazioni permanenti su cui si basa il servizio avessero coordinate variabili di settimana in settimana.

Per questo motivo la International Association of Geodesy IAG ha istituito nell'ambito della Commissione 1 'Sistemi di Riferimento' la sottocommissione 1.3 'Sistemi Regionali di Riferimento', nella quale è collocata l'EUREF. Uno dei compiti principali dell'EUREF è di realizzare e mantenere il sistema di riferimento orizzontale e verticale europeo, coerentemente con INSPIRE.

Queste brevi considerazioni portano alla conclusione che le autorità geodetiche nazionali lavorino di concreto con quelle delle altre nazioni europee in modo che il sistema di riferimento italiano sia esso pure materializzato e monitorato in continuo con regole uniformi a quelle europee; tale auspicio già presente nei documenti ufficiali delle strutture scientifiche e tecniche europee, ha portato ad una stagione di collaborazione tra Istituto geografico Militare, CISIS ed Università per le finalità sopra riportate.

Il presente lavoro ricostruisce la storia di questa collaborazione e ne fa il punto, in vista dei suoi necessari ulteriori sviluppi.

2. Sistema geodetico Italiano

Nel quadro dell'integrazione in ambito europeo l'IGM ha realizzato una rete di stazioni permanenti alcune delle quali appartenenti alla rete mondiale e europea che costituissero un frame locale atto a supportare un Sistema Geodetico Nazionale: l'insieme delle stazioni permanenti distribuite uniformemente sul territorio nazionale è stato denominato Rete Dinamica Nazionale.

Nel Simposio EUREF di Firenze (27-30 maggio 2009) Sono stati presentati i risultati dei calcoli e EUREF ha accettato RDN come raffittimento Italiano della rete europea, quindi inserita nel frame ETRF2000; come detto le coordinate dei vertici della rete possono essere reperite nel sito dell'IGM.

2.1 Monitoraggio di RDN

Una rete così complessa e articolata richiede un controllo continuo per verificare la continuità dell'acquisizione, la qualità del dato e la stessa stabilità delle stazioni. Causa la molteplicità delle gestioni, l'IGM in attesa di realizzare la continuità del flusso dei dati in automatico ha provveduto ad acquisire le ricezioni di periodi continui di 4 settimane, intervallate di sei mesi, centrate a cavallo e a metà dell'anno. I dati utili sono risultati essere compresi nei seguenti intervalli temporali:

Epoca	da	a	n° stazioni	n° file
2008.0	357/2007	019/2008	98	2595
2008.5	167/2008	194/2008	73	1928
2009.0	356/2008	017/2009	89	2260
2009.5	165/2009	192/2009	97	2454
2010.0	354/2009	016/2010	87	2189

Tabella 1 – Periodi di acquisizione coordinata della rete RDN e sua consistenza.

Come si vede c'è una certa dinamica nella composizione di RDN, legata alla stabilità delle stazioni componenti e alla fruibilità del dato. IGM comunque attualmente è in grado di ricevere con continuità dalle stazioni RDN.

IGM e le università coinvolte hanno proceduto a effettuare calcoli anche su questi spezzoni sempre con il supporto del CISIS che hanno permesso di seguire la dinamica delle stazioni. Un esempio tipico della variazione di posizione nel Frame ITRF2005 è riportato in figura 2

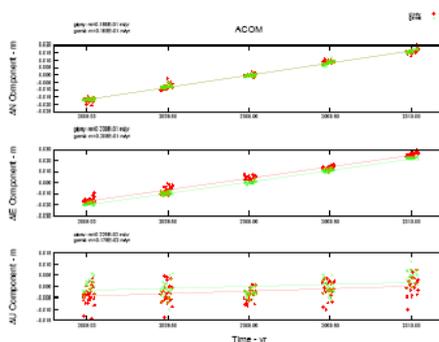


Figura 2 – Posizione di una Stazione RDN nel Frame ITRF2005 nel periodo 2008-2010.

I risultati di questi calcoli non sono stati ancora presi in considerazione ai fini della definizione delle stazioni RDN, che è rimasta ufficialmente quella definita all'epoca 2008.0, sistema/frame ETRF2000. Le figure che seguono illustrano i movimenti delle stazioni RDN presenti in più epoche, sia nel frame ITRF2005 sia in ETRF2000 che è un Sistema solidale con la placca eurasiatica e quindi assorbe i movimenti di questa: quello che resta sono i movimenti specifici delle stazioni, al netto del movimento d'insieme.

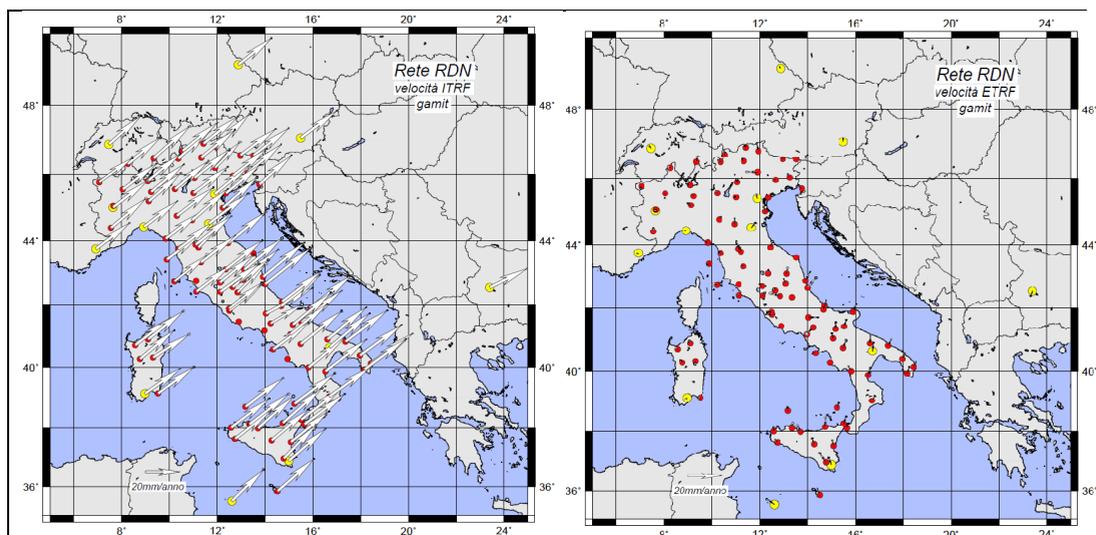


Figura 3 – Velocità annua(in mm/anno) delle stazioni RDN nei sistemi ITRF00 e ETRF2000.

La dinamica delle stazioni, sia in senso fisico che come reperibilità dei dati, suggerisce di continuare il monitoraggio di RDN portandolo, come impegno di importanza prioritaria, definitivamente ad un monitoraggio continuo.

3. Il problema dalla quota

La definizione della posizione dei punti nei Sistemi Geodetici viene fatta in termini tridimensionali, tramite ad esempio le coordinate geocentriche (X,Y,Z) o tramite la posizione “planimetrica” longitudine e latitudine (ϕ, λ) e la componente altimetrica h altezza del punto rispetto alla superficie ellissoidica di riferimento adottata, presa sulla normale ad essa. Anche il passaggio dal sistema ITRS a quello europeo ETRS89 viene effettuato in termini tridimensionali.

Per quanto riguarda l’altimetria, però, la quota ellissoidica è ben diversa da quella che viene generalmente adottata nel paese, che fa riferimento alla superficie di riferimento geoidica quale è definita da un mareografo di riferimento e che viene propagata sul resto del territorio mediante operazioni di livellazione geometrica. Il frame che realizza il sistema altimetrico italiano è costituito dai capisaldi della rete di livellazione. Come detto in precedenza al paragrafo 1.1 il tipo di quote che si ottiene, sbrigativamente indicato come “quota sul livello del mare” non rappresenta un sistema di altezze congruente e neppure univoco.

Vi sono cinque tipi di coordinate d’altezza oggi in uso nel mondo: i numeri geopotenziali C , le altezze ortometriche H , le altezze ellissoidiche h , le altezze normali h^* e, meno diffuse, le altezze ortonormali; di tali grandezze si riportano in appendice le definizioni. A livello internazionale, l’unificazione mondiale del Datum d’altezza cioè la capacità di riferire tutti i sistemi di altezza a livello globale rispetto alla stessa superficie equipotenziale (geoide) è stato dibattuto nella letteratura scientifica (vedi esempio [4]) e tuttavia sta solo recentemente raggiungendo un livello di acquisizione di dati sufficiente a fornire una soluzione globale con un’accuratezza di 2 - 3 cm. Ciò grazie alle missioni satellitari gravimetriche, in particolare GOCE; che danno una mappa globale e coerente del campo di gravità anomalo con una risoluzione a terra di circa 100 km. A livello europeo la questione è all’ordine di EUREF che attraverso il progetto EVRS si è posta il problema dell’unificazione del Datum verticale, in particolare usando il geoide europeo, le reti di livellazione unificate a livello continentale e i dati di altezza ellissoidica per le stazioni delle reti

permanenti GNSS. Tra l'altro la raccomandazione di EUREF è che le reti di livellazione vengano compensate in termini di altezze normali, come già quelle delle nazioni dell'ex blocco sovietico.

Senza univocità nell'uso dei sistemi di coordinate è evidentemente impensabile di unificare i diversi sistemi d'altezza, operazione indispensabile per definire un frame informatico coerente per le applicazioni tecniche ai lavori pubblici, alle costruzioni civili, al controllo del territorio.

Non a caso della questione si occupa anche la direttiva europea INSPIRE.

La situazione dell'Italia è purtroppo che essa non possiede un sistema di altezze ortometriche, ma le reti di livellazione sono state compensate senza correzioni ortometriche.

La cosa può essere messa in evidenza ad esempio confrontando le altezze ortometriche della Svizzera con quelle italiane lungo il confine. Come si vede in figura, che rappresenta il confronto tra i geoidi gravimetrici svizzero e italiano lungo la frontiera, non vi è solo un bias causato dalle diverse origini del Datum d'altezza, ma anche una deformazione che potrebbe riflettere la mancata correzione ortometrica per parte italiana.

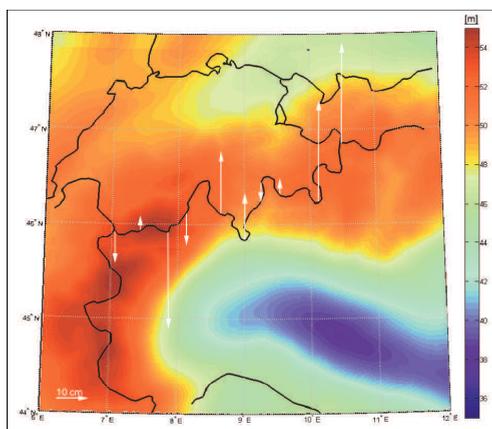


Figura 4 – Discrepanze tra geoidi della Svizzera e dell'Italia.

4. Collaborazione CISIS - Università – IGM e Progetto NSPR

La scelta di un Sistema Geodetico e Cartografico di riferimento e la istituzione di un Frame che lo realizza concretamente e lo dovrebbe rendere fruibile all'utenza non esaurisce certo i bisogni operativi della comunità. Occorre ovviamente provvedere alla manutenzione controllando nel tempo il comportamento delle stazioni, delle quali è necessario conoscere la velocità ovvero il trend di movimento o evidenziare il prima possibile un eventuale comportamento anomalo della stazione. L'accesso al frame consente l'inquadrimento di qualsiasi tipo di rilievo e di tutte le informazioni e basi di dati che ne derivano. Per rendere più efficienti (economici, rapidi) i rilievi GNSS sono state sviluppate come noto numerose reti per il rilievo in tempo reale, a cura di organizzazioni di geometri, Ditte ma anche, direttamente o tramite un supporto economico, da molte Regioni e alcune Province autonome; tali reti permettono di inserire il rilievo nel sistema di riferimento proprio della Rete NRTK che fornisce il servizio. E' evidente la necessità che le reti NRTK operanti sul territorio nazionali parlino la stessa lingua, cioè siano riferite allo stesso sistema, e specificatamente quello nazionale: l'attuale autonomia decisionale e operativa dei realizzatori e dei gestori delle Reti NRTK lascia libero ciascuno di fare la scelta ritenuta preferibile e non garantisce l'omogeneità della soluzione adottata: poiché il campo di funzionamento di diverse reti si sovrappone sul territorio, l'utente può trovare posizioni diverse a seconda del servizio che utilizza, differenze superiori alla indeterminazione resa possibile dalla tecnica.

In un altro ambito, se il Sistema Geodetico è realizzato in Italia da RDN, per quanto attiene le quote “sensibili alla gravità” l’Italia non ha una rete altimetrica pienamente coerente con le richieste Europee, non utilizza il tipo di coordinate suggerito per aderire allo standard europeo, e molto lavoro andrebbe fatto in quella direzione. Consapevole di questi e altri problemi che rendono complesso e non pienamente interoperabile la formazione, il recupero e l’interoperabilità dei dati territoriali, il CISIS ha discusso le operazioni prioritarie da fare e ha proposto un progetto operativo denominato “Network di stazioni permanenti per le Regioni” basato su alcune importanti attività.

Il progetto nasce nel contesto della proposta di DPCM sulla Rete Dinamica Nazionale (RDN), approvato dal Comitato per le regole tecniche sui dati territoriali (di cui all’art. 59 del DL n. 82 del 07/03/05) nel novembre 2009 e dalla Conferenza Unificata nel luglio 2010; in esso sono contenuti i presupposti per aggregare, uniformare, certificare, armonizzare al contorno e mantenere aggiornata nel tempo la capacità delle reti regionali di stazioni permanenti GPS e GNSS per fornire la georeferenziazione di alta qualità a tutti coloro che useranno le nuove tecnologie di rilevamento previste nel corso dello sviluppo tecnologico del prossimo quinquennio.

Come tutti i progetti CISIS, esso verrà finanziato dagli enti che aderiranno al progetto.

Il Comitato Permanente Sistemi Geografici del CISIS nell’ottica del supporto sia all’integrazione delle attività geomatiche delle Regioni e Province Autonome ha approvato nella seduta del 28 aprile 2011 la predisposizione di un progetto di ricerca denominato *Progetto NSPR (startup Network di Stazioni Permanenti per le Regioni)*, il progetto, oggi in fase di ratifica delle Regioni aderenti, prevede il riavvio della collaborazione tra il CISIS, l’IGM e le Università di Bologna, Padova e il Politecnico di Milano, finalizzato sia al mantenimento della RDN e sia a creare i presupposti per aggregare, uniformare, certificare, armonizzare al contorno le reti regionali di stazioni permanenti e mantenerne aggiornata nel tempo la capacità di fornire il supporto ad una georeferenziazione di alta qualità a tutti coloro che useranno le nuove tecnologie di rilevamento previste nel corso dello sviluppo tecnologico del prossimo quinquennio. Le principali attività previste riguardano:

- reiterazione per un anno del calcolo della posizione delle stazioni permanenti RDN; attività di collaborazione, previo Atto Esecutivo, con IGM per la certificazione tramite centri di calcolo indipendenti in conformità alle specifiche tecniche EUREF

- calcolo certificato e validazione della posizione delle stazioni permanenti delle reti locali nella RDN; realizzato da uno dei tre partner scientifici per ciascuna delle infrastrutture delle Regioni aderenti al progetto.

- realizzazione del repository presso il CISIS dei dati 365 gg/anno delle stazioni permanenti regionali e di quelle RDN campionati a 30 secondi;-Si tratta di assistere tecnicamente i tecnici già operanti presso il CISIS alla realizzare in FTP di un backup omogeneo, certificabile ed interoperabile sia dei dati delle stazioni permanenti regionali in previsione di quanto richiesto all’art. 6 della proposta di DPCM sulla RDN, sia della copia di sicurezza dei dati delle stazioni permanenti in RDN

- individuazione di procedure per il miglior raccordo dei dati topografici e catastali nel sistema di riferimento RDN gestito dalle reti locali delle stazioni permanenti.

- studio sulla possibilità di introdurre le quote normali nel sistema verticale nazionale, introducendo di fatto lo standard EVRS, in aggiunta a quello orizzontale ETRS.

5. Ulteriori sviluppi e Conclusioni

Le tematiche proposte nel Progetto NSPR sono indicative di quali siano i punti caldi che, a parere degli autori, vanno affrontate in futuro.

Prima di tutto, consolidare il lavoro già fatto in direzione di un Frame nazionale Stabile, Monitorato e Fruibile. Stabile: il disegno di RDN deve raggiungere una configurazione fissa che possa servire per un monitoraggio di lungo periodo. Monitorato: non si può interrompere l’analisi di RDN congelando la posizione a quella ottenuta nel 2008, e da un solo Centro di Calcolo ma occorre continuare a ripetere i calcoli e le velocità e le posizioni debbono derivare dalla combinazione delle soluzioni ottenute. Fruibile: i dati acquisiti dalle varie Stazioni Permanenti

debbono essere di dominio pubblico per poter essere utilizzati come si conviene a punti di rete, in un sito centralizzato e opportunamente ridondato, per cui è indispensabile realizzare un archivio di backup ad esempio presso il CISIS, che ha già una struttura che può assumere il compito.

In secondo luogo, occorre considerare che le reti NRTK consentono un nuovo modo di operare, non solo per la maggiore efficienza, quanto per il fatto che il rilievo effettuato dall'operatore viene subito inserito in un sistema di riferimento, quello fornito dalla Rete; è indispensabile che tutte le reti NRTK che offrono un servizio siano attendibilmente inserite nel sistema nazionale ETRF2000

Finalmente, una volta consolidato l'aspetto tridimensionale relativamente alla superficie associata al Sistema di Riferimento, occorre affrontare il problema delle quote "sul livello del mare" (qualunque cosa queste parole significhino scientificamente) ovvero delle quote normalmente usate in Italia: tali quote non esprimono correttamente il livello del punto rispetto la superficie di riferimento geoidica.

L'Europa ha affrontato il problema adottando, come si è detto, un tipo di quota definibile scientificamente che in Italia non sono definite: molto lavoro è necessario per uniformarsi alle specifiche EUREF. Gli autori ritengono che nella presente mancanza di un coordinamento ufficiale nazionale degli enti geodetici e cartografici, sia della massima urgenza definire un progetto di cooperazione per l'istituzione di un Datum d'altezza nazionale e di un sistema di coordinate verticali coerente con le raccomandazioni degli enti europei preposti.

Per quanto sopra si può concludere che la Rete Dinamica Nazionale realizzata dall'IGM e ratificata dall'EUREF nel 2009 è pienamente confacente alle prescrizioni INSPIRE, mentre la rete altimetrica attualmente disponibile non è collegata alle misure di gravità e pertanto non è confacente a EVRS.

E' quindi auspicabile una stretta collaborazione tra CISIS, Università e IGM per completare il nuovo sistema geodetico italiano sia sotto l'aspetto realizzativo (sistema altimetrico) sia sotto quello manutentivo e di servizi agli Utenti quali ad esempio aggiornamento e raffittimento della RDN, armonizzazione delle reti geodetiche regionali, servizi NRTK.

Bibliografia

Schema di decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri concernente Regolamento recante "Adozione del sistema geodetico nazionale" e relativi allegati - <http://www.digitpa.gov.it/altre-attivita/C3/A0/sistema-di-riferimento-geodetico-nazionale>

Parere sullo schema di decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri concernente Regolamento recante "Adozione del sistema geodetico nazionale". (PUBBLICA AMMINISTRAZIONE E INNOVAZIONE) ai sensi dell' articolo 59 comma 5 del decreto legislativo 7 marzo 2005, n. 82 - <http://www.statoregioni.it/dettaglioDoc.asp?idprov=8415&iddoc=27527&tipodoc=2>

Codice dell'Amministrazione Digitale - Testo vigente al 13 agosto 2005, coordinato del Codice dell'amministrazione digitale a seguito delle modifiche ed integrazioni introdotte dal decreto legislativo 30 dicembre 2010, n. 235, e dal decreto legge 13 agosto 2011, n. 138- <http://www.digitpa.gov.it/principali-attivita/codice-dellamministrazione-digitale>

Barbarella M., Gandolfi S., Ricucci L., Zanutta A., (2010), The new Italian geodetic reference network (RDN): a comparison of solutions using different software packages, (in stampa su Bulletin of Geodesy and Geomatics)

Caporali A., Turturici F., Maseroli R., Farolfi G., (2009), Preliminary results of the computation of the new Italia Permanent Network RDN of GPS stations., Bulletin of Geodesy and Geomatics, LXVIII, 2009, 2, 147-162

Caporali, A., Lidberg, M. e Stangl, G.(2011) Lifetime of ETRS89 Coordinates. Atti del Convegno EUREF 2011, Chisinau, Moldavia (in stampa)

Sansò F., Vanicek G. P. (2006) The orthometric height and the holonomy problem Journal of Geodesy, vol 80, n. 5(2006) pp. 225-232.

Appendice

Il problema delle altezze. Sistemi di coordinate e datum verticale

Vi sono cinque tipi di coordinate d'altezza oggi in uso nel mondo: i numeri geopotenziali C , le altezze ortometriche H , le altezze ellissoidiche h , le altezze normali h^* e le altezze ortonormali. Dei primi quattro tipi ricordiamo le definizioni e le relazioni con le grandezze osservabili sulla superficie terrestre: del quinto tipo non parliamo dato la sua limitata diffusione (ad esempio Nuova Zelanda, Australia e UK).

Numeri geopotenziali C : data la funzione potenziale del campo di gravità $W(P)$, si sceglie una superficie equipotenziale $G \equiv \{W(P) = W_0\}$, con W_0 definito per convenzione in modo tale che G si discosti per pochi metri della superficie media degli oceani. G è detto *geoide* e funge da superficie di riferimento per C che è definito come

$$C(P) = W_0 - W(P). \quad (1)$$

Il valore W_0 è scelto in funzione di parametri globali della terra (massa totale, semiasse equatoriale dell'ellissoide, eccentricità e velocità angolare). La conoscenza di $W(P)$ per un punto specifico può essere ottenuta solo risolvendo contemporaneamente un problema al contorno per il potenziale normale del capo di gravità. In compenso le variazioni di $C(P)$ e di $W(P)$ lungo una rete di livellazione sono calcolabili considerando che per due punti P' e P vicini tra loro

$$\begin{aligned} dW(P) = W(P') - W(P) &= \underline{g}(\bar{P}) \cdot d\mathbf{r}_{PP'} = \\ &= -\underline{g}(\bar{P})\underline{n}(\bar{P}) \cdot d\mathbf{r}_{PP'} = -\underline{g}(\bar{P})dL_{PP'} \end{aligned} \quad (2)$$

dove \bar{P} è il punto medio tra P e P' , $\underline{g}(P)$ il modulo di gravità in P (che è ovviamente una quantità osservabile), $\underline{n}(P)$ la direzione della verticale (che è la stessa di $\underline{g}(P)$ ma con verso opposto) e infine

$$dL_{PP'} = \underline{n}(\bar{P}) \cdot d\mathbf{r}_{PP'} \quad (3)$$

e l'incremento di livellazione tra P e P' .

La (2) può poi essere propagata (integrata) lungo le linee di livellazione fornendo $W(P) - W(Q)$ per due punti qualunque di una rete.

Nota 1: $C(P)$, benché diminuisca quando P si muove in direzione di $\underline{n}(P)$, che è un requisito intuitivo per una coordinate d'altezza, è espresso in unità geopotenziali, ovvero $1 \text{ gpu} = 10^3 \text{ Gal} \cdot \text{m}$, ($1 \text{ Gal} = 1 \text{ cms}^{-2}$).

Sulla superficie terrestre i valori di $C(P)$ sono circa 0,98 volte il valore metrico, cioè di un'altezza data in metri. Questo fattore di scala è però variabile da punto a punto, quando si voglia calcolare con una precisione relativa tra 10^{-3} e 10^{-6} .

Notiamo che talvolta si parla di altezze dinamiche che sono sostanzialmente la stessa cosa dei numeri geopotenziali, scalati con un valore medio costante g della gravità

$$H_{\text{dim}}(P) = \frac{C(P)}{\bar{g}}, \quad (4)$$

in modo che la coordinata sia ancora più prossima numericamente ad un'altezza di metri. Un valore usato per \bar{g} è $\bar{g} = 980,629387$ Gal.

Nota 2: si osservi che con la definizione del geoido tramite il valore di W_0 tale superficie non ha più una relazione precisa con i mareografi, tranne per il fatto che questi si trovano in una fascia di pochi metri rispetto al geoido stesso. Fortunatamente due superficie equipotenziali che distino tra loro di pochi metri in un punto, benché non siano mai esattamente parallele, hanno variazioni di distanza inferiori di 2 cm in un altro punto qualunque.

Dunque su aree limitate, come ad esempio per l'Italia, correggere per il datum di altezza equivale a correggere tutte le altezze per una costante, con una precisione dell'ordine di millimetri.

Le altezze ortometriche H : per definizione $H(P)$ è la lunghezza della linea della verticale (linea di campo del campo vettoriale $\underline{n}(P) = \frac{-1}{g(P)} \underline{g}(P)$) compresa tra P e il geoido G . La superficie origine di tale coordinate, cioè l'insieme dei punti per cui $H(P) = 0$, è la stessa usata per $C(P)$. Questa coincidenza tuttavia non si verifica più nello spazio esterno a G , ovvero i punti di una superficie equipotenziale (sulla quale $C(P)$ è costante) non hanno altezza ortometrica costante.

Una cattiva letteratura ha indotto a credere nel seguente ragionamento: dalla (2) si vede che l'incremento di livellazione lungo una linea può essere espresso come

$$dL = \underline{n} \cdot \underline{dr} = -\frac{dW}{g}; \quad (5)$$

d'altro canto se ci si muove lungo la linea della verticale di una quantità dH , si ha chiaramente

$$dH = -\frac{dW}{g}; \quad (6)$$

quindi si può porre

$$dL = dH. \quad (7)$$

L'errore logico sta nel fatto che la (4) vale solo lungo la direzione della verticale, cioè dW in (4) non è il differenziale totale di W come in (3). In effetti poiché $g(P)$ non è costante (se non in modo molto approssimato) su una superficie equipotenziale, dalla (3) (che è un'equazione corretta) si vede che dL non può essere un differenziale esatto, cioè non esiste una coordinata di cui dL è il differenziale. Dunque per correggere la (7) occorre introdurre un ulteriore termine, detto correzione ortometrica (OC), così che la (7) integrata per una linea tra due punti A e B della superficie diventa

$$H_B - H_A = \int_{AB} dL + OC(A, B). \quad (8)$$

Nella (8) si può porre

$$OC(AB) = \int_{AB} \frac{\bar{g} - \bar{\gamma}}{\gamma} dH - \int_{B_0}^B \frac{\bar{g} - \bar{\gamma}}{\gamma} dH + \int_{A_0}^A \frac{\bar{g} - \bar{\gamma}}{\gamma} dH. \quad (9)$$

L'integrale lungo \overline{AB} della (9) va preso sulla linea di livellazione, e dipende come si vede da grandezze osservabili sulla superficie, g , e da $\overline{\gamma}$ che è un valor medio costante di gravità per l'area

$$O\left(\frac{g-\overline{\gamma}}{\overline{\gamma}}\right) \sim 10^{-4} / 10^{-5}$$

su cui la livellazione si estende. Poiché , si vede che tale integrale può avere il valore di alcuni centimetri per 1000 m di dislivello. Invece i due integrali tra $\overline{A_0A}$ e $\overline{B_0B}$ della (9) vanno presi lungo le linee della verticale tra geoidi ed A, e geoidi e B rispettivamente. Come si vede, i due integrali dipendono dal valore di g all'interno delle masse e quindi a rigore non possono essere calcolati senza fare ipotesi sulla densità di massa tra superfici della terra e geoidi.

Per fortuna un'analisi di sensitività rivela che l'uso di una densità media della crosta, $\overline{\rho} = 2,67 \text{ g cm}^{-3}$, porta ad un valore dell'integrale approssimato al centimetro anche per dislivelli di qualche chilometro.

La conclusione della precedente discussione è duplice:

- un sistema di altezze ortometriche non può essere stabilito solo sulla base di misure di superficie
- tale sistema tuttavia può essere istituito con sufficiente precisione (dell'ordine del centimetro) applicando le correzioni ortometriche date dalla formula (9) e supponendo costante la densità della crosta sopra il geoidi.

Ricordando che la (4), pur non valida in generale, è però corretta lungo una linea della verticale, si può scrivere

$$C(P) = -\int_0^H dW = \int_0^H g dH = \overline{g}H(P) \quad (10)$$

La (10) fornisce la relazione tra C ed H , che naturalmente dipende dal valor medio della gravità g lungo la linea della verticale e dunque dipende, come già osservato, dalla densità di massa degli strati superficiali.

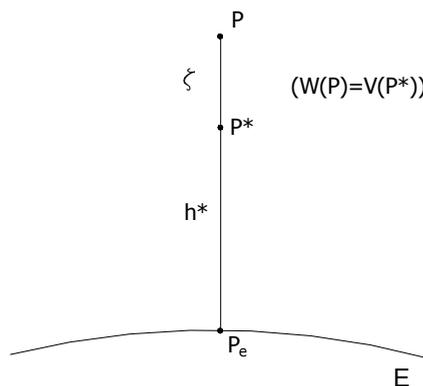


Figura 1

Le altezze ellissoidiche h : una volta definite forma e posizione dell'ellissoide terrestre E nello spazio (definizione del datum geodetico), si definisce l'altezza ellissoidica $h(P)$ di P come la lunghezza del segmento di normale ad ε che passa per P , presa col segno positivo all'esterno e col segno negativo all'interno di E .

Tutti i punti nello spazio hanno un valore univoco di h , tranne che per un piccolo disco attorno all'origine, sul piano equatoriale di E .

L'altezza ellissoidica assieme alle coordinate planimetriche (λ, φ) del piede della normale \underline{v} per P formano una terna ortogonale di coordinate cosiddette geografiche che sono la base di ogni applicazione tecnica del posizionamento.

La terna (λ, φ, h) è biunivocamente trasformabile in coordinate cartesiane geocentriche (x, y, z) (con l'origine nel baricentro e l'asse z lungo l'asse di rotazione terrestre); in questo senso (λ, φ, h) sono coordinate puramente geometriche. Dall'avvento del posizionamento satellitare (GNSS), che non fa uso della direzione della verticale in P , l'altezza ellissoidica $h(P)$ è diventata una grandezza direttamente osservabile.

Le superfici $\{h(P) = \text{costante}\}$ distano dalle superfici equipotenziali, su cui C è costante, assai più che non le superfici $\{H(P) = \text{costante}\}$. In particolare lo scarto del geode G , ($C = 0$), dall'ellissoide E , ($h = 0$) è detto ondulazione del geode N e varia in una fascia di ± 100 m su tutto il globo.

I parametri di E sono scelti in modo tale che la media di N su E sia nulla. Particolarmente semplice è la relazione geometrica tra h ed H , data da

$$h(P) = H(P) + N(P_e) , \quad (11)$$

P_e essendo la proiezione ortogonale di P su E .

La conoscenza di $N(P_0)$ può essere ottenuta solo per via gravimetrica, facendo in aggiunta opportune ipotesi sulla densità di massa degli strati topografici.

Le altezze normali h^* : per definire in modo corretto questo tipo di coordinate d'altezza è necessario introdurre qualche nozione relativa al cosiddetto campo normale.

La costruzione del potenziale normale $U(P)$ è legata all'ellissoide E . $U(P)$ è un potenziale costituito

da una parte centrifuga $\frac{1}{2}\omega^2(x^2 + y^2)$ identica a quella di W e da una parte armonica $V(P)$ tale che

$$V(P) + \frac{1}{2}\omega^2(x + y^2)|_\varepsilon \equiv U_0 \quad (12)$$

Per convenzione V_0 e W_0 sono uguali tra loro.

Il modulo del gradiente di $U(P)$, indicato con $\gamma(P)$, è chiamato modulo della gravità normale. Nello strato topografico, cioè fino ad altezze massime di 10 km, V e γ possono essere espressi con formule approssimate in termini di coordinate geografiche, ovvero

$$\gamma(h, \varphi) = \gamma_0(\varphi) - \gamma_1(\varphi)h + \gamma_2 h^2$$

$$\gamma_0(\varphi) = 978,049 [1 + 0,005 2884 \sin^2 \varphi - 0,0000059 \sin^2 2\varphi] \quad (13)$$

$$\gamma_1(\varphi) = 0,30877 - 0,00045 \sin^2 \varphi$$

$$\gamma_2 = 0,000072 ;$$

$$U = U_0 - \gamma_0(\varphi)h + \frac{1}{2} \gamma_1(\varphi)h^2 - \frac{1}{3} \gamma_2 h^3 ,$$

$$U_0 = 6236856 \text{ m s}^{-2}$$

$$\gamma \text{ in Gal (= cm s}^{-2}\text{)}, h \text{ in km, } U \text{ in g.p.u.} \quad (14)$$

Infine la direzione del vettore della gravità normale è, sempre nello strato topografico, molto prossima alla direzione di $\underline{\nu}$ la normale ad \mathbb{E} , poiché le linee della verticale di \mathbb{E} hanno una curvatura piccolissima in tale strato.

La differenza tra potenziale della gravità W e potenziale della gravità normale U è per definizione il potenziale anomalo $T(P)$, cioè

$$W(P) = U(P) + T(P) \quad (15)$$

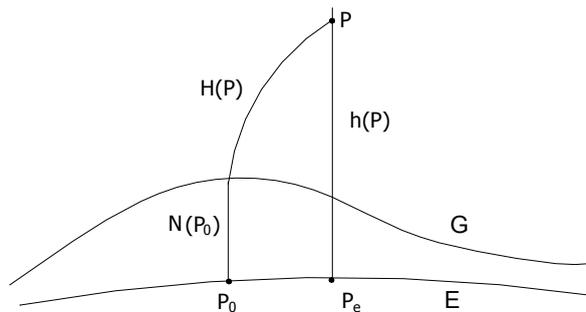


Figura 2 – Relazione tra h, H ed N . Si noti che per motivi fisici è $|P_0P_e| < 2m$, $|N(P_0) - N(P_e)| < 0,2 \text{ mm}$.

Ciò posto, si considera un punto P e la normale ad \mathbb{E} passante per P (vedi Fig. 2).

Lungo la retta PeP si definisce un punto P^* tale che

$$U(P^*) = W(P) ; \quad (16)$$

per definizione l'altezza "normale" di P è data da

$$h^*(P) = h(P^*) . \quad (17)$$

Poiché

$$W(P^*) < W_0 = U_0 = U(P_e)$$

e poiché $V(P)$ diminuisce in modo monotono nello stato topografico lungo la normale ad \mathbb{E} , la (16) ha certamente una soluzione P^* e $h^*(P)$ risulta ben definita.

La definizione di $h^*(P)$ è dovuta ad M.S. Molodensky che era interessato ad una linearizzazione rigorosa dei problemi al contorno della geodesia (cioè alla determinazione di $T(P)$) e, come si vede, essa dipende dalla quantità osservabile sulla superficie $W(P)$ (o meglio osservabile a meno di una costante).

Usando la (14), si vede che, noti (λ, φ) e W del punto P , è possibile ricavare $h^*(P)$ in modo univoco, dunque le due informazioni sono sostanzialmente equivalenti. Anzi, più precisamente, si può notare che a causa della scelta $U_0 = W_0, h^*$ definita dalla equazione

$$-\frac{1}{3}\gamma_2 h^{*3} + \frac{1}{2}\gamma_1 h^{*2} - \gamma_0 h^* + C = 0 \quad (18)$$

risulta direttamente funzione del numero geopotenziale $C(P)$. Un'altra forma della (18), assai usata perché simile alla (10), è

$$h^*(P) = \frac{C(P)}{\bar{\gamma}}, \quad (19)$$

dove $\bar{\gamma}$ è il valor medio di $\bar{\gamma}$ lungo la normale all'ellissoide, tra E e P . È chiaro che la (19) è sostanzialmente equivalente alla (18).