

CAPITOLO 1

DEFINIZIONE DELLE STRATEGIE DI PROGETTAZIONE DI UNA RETE PERMANENTE

*Battista Benciolini (1), Ludovico Biagi (2), Mattia Crespi (3),
Ambrogio Maria Manzino (4) Marco Roggero (4)*

- (1) Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Trento, via Mesiano 77 – 38100 Trento
(2) DIIAR - Politecnico di Milano, c/o Polo Regionale di Como, via Valleggio 11 – 22100 Como
(3) DITS - Area di Geodesia e Geomatica, Sapienza Università di Roma, via Eudossiana 18 – 00184 Roma
(4) DITAG- Politecnico di Torino, II Facoltà P.zza S. Eusebio 5 – 13100 Vercelli

SOMMARIO

Una rete di stazioni permanenti di servizio si pone l'obiettivo di erogare, a diversi livelli, dati, prodotti e supporto per il rilievo topografico, per il monitoraggio geodetico, più in generale per applicazioni geomatiche e anche per altre applicazioni tecniche e scientifiche nelle quali interviene a diversi livelli l'esigenza del posizionamento sul territorio coperto dalla rete. La progettazione e la realizzazione di una rete di servizio pongono numerosi problemi di natura scientifica, tecnica e normativa: nel capitolo si cerca di sviscerare quali siano le principali problematiche nell'attuazione di tali passi. Non si tenta la soluzione di problemi ancora irrisolti a livello internazionale, ma si cerca di identificare l'esistenza di tali problemi; si toccano inoltre alcuni aspetti specifici nella realizzazione di reti di stazioni permanenti di servizio nel contesto nazionale.

1 INTRODUZIONE

Una rete di Stazioni Permanenti (nel seguito SP) di servizio si pone l'obiettivo primario di erogare dati, prodotti derivati e supporto all'utenza del rilevamento con metodo GNSS, in modo da renderne l'utilizzo più comodo e conveniente (Manzino, 2003). Inoltre assolve a compiti di monitoraggio geodetico del territorio e può concorrere nello sviluppo di ulteriori applicazioni scientifiche, come ad esempio la stima dei contenuti di vapor d'acqua nell'atmosfera (Dousa, 2001). In molte nazioni europee le reti di SP di servizio sono già una realtà operativa da diversi anni; in Italia solo ora iniziano a svilupparsi, tipicamente su scala regionale.

In estrema sintesi una rete di servizio si compone di un insieme di SP, di una rete di trasmissione dati fra le SP e il centro di controllo e, appunto, di un centro di controllo. Sono di solito presenti anche infrastrutture dedicate alla distribuzione dei dati e dei servizi agli utenti.

La realizzazione di una rete di servizio pone numerosi problemi su diversi livelli gerarchici, ovvero di natura scientifica, tecnica e normativa. Fatta comunque salva l'importanza di ciascuno di essi, i tre diversi aspetti a prima vista potrebbero apparire incorrelati nelle loro specificità: in effetti non è così poiché la soluzione rigorosa di questioni scientifiche può implicare problemi di tipo tecnico. A tale riguardo, a titolo di esempio, si ricorda il problema della scelta di un adeguato sistema di riferimento della rete e dalla disponibilità per gli utenti di servizi per l'inquadramento dei singoli rilievi in sistemi diversi. Il problema è stato già discusso preliminarmente in Biagi et al. (2005), Biagi et al. (2006). Inoltre, le questioni normative non possono prescindere da quanto noto scientificamente e da quanto fattibile tecnicamente. Per tale motivo nel presente lavoro si tratteranno gli argomenti rispettando una sorta di cronogramma di realizzazione di una rete di servizio e non in base a una gerarchia di presunta importanza: in particolare si vogliono discutere i seguenti aspetti, relativi ai grandi capitoli di progettazione, realizzazione e gestione della rete:

1. la carta dei servizi e la certificazione dei prodotti forniti all'utenza,
2. il disegno generale della rete e la localizzazione di dettaglio delle SP,
3. l'installazione delle SP, dalla fornitura dell'HW alla monumentazione delle antenne,
4. il dimensionamento del centro di controllo e la fornitura del SW,
5. i problemi legati alla gestione della rete.

Non vengono trattati gli aspetti relativi all'inquadramento della rete, ovvero alle scelte di materializzazione del sistema di riferimento: a tali aspetti fondamentali è dedicato il capitolo 3 del presente libro.

Il materiale presentato in questo lavoro è una ragionata rielaborazione delle attività progettuali svolte e delle esperienze maturate dagli autori nell'ambito della realizzazione delle reti test del Politecnico di Torino (*Cina et al.*, 2004, <http://www.vercelli.polito.it/civili/topo0103.htm>) e della Sapienza Università di Roma (*Reina et al.*, 2005, <http://w3.uniroma1.it/resnap-gps/index.asp>), dalla Regione Lombardia (*IREALP*, 2004, <http://www.gpslombardia.it/>) e dalla Provincia di Trento (*Buffoni et al.* 2005) per le relative reti di servizio.

2 CONSIDERAZIONI GENERALI SUI SERVIZI E DEFINIZIONE DI UNA CARTA DEI SERVIZI

Una rete di SP GNSS finalizzata a servizi di posizionamento può erogare servizi di vario tipo:

1. servizi tecnici, ovvero caratterizzati da accuratezze da centimetriche a submetriche: rilievo a scopi topografici e cartografici in generale;
2. servizi scientifici, ovvero caratterizzati da accuratezze subcentimetriche: monitoraggio di deformazioni;
3. servizi tecnici "certificati": rilievo catastale e ricostruzione cinematica per voli fotogrammetrici e catasto strade;
4. servizi accessori, come le stime dei ritardi troposferici ed ionosferici;
5. formazione.

Se risulta evidente la nostra distinzione, in termini di accuratezza, fra servizi tecnici e servizi scientifici, qualche parola deve essere spesa per chiarire meglio cosa si intenda per certificazione dei servizi tecnici.

Senza alcuna pretesa di essere esaustivi, ma volendo semplicemente porre il problema, si ritiene che la certificazione possa (e, forse, debba) interessare tutti i servizi di posizionamento destinati ad applicazioni nelle quali si configurano aspetti di tipo giuridico-economico (ad esempio le applicazioni catastali e demaniali, ove il posizionamento serve a definire diritti di proprietà privata o pubblica, oppure i collaudi, ove il posizionamento serve a comprovare la correttezza della georeferenziazione di informazioni territoriali). Per questi casi è probabilmente necessario prevedere almeno l'archiviazione di tutti i dati e delle procedure di analisi per una possibile riproduzione in qualunque momento del posizionamento effettuato (in tempo reale od a posteriori) sulla base dei servizi offerti dalla rete.

Innanzitutto qualche chiarimento su tempo reale e post-processamento dei dati. L'esperienza internazionale e recenti sperimentazioni svolte a livello nazionale (*Wübbena et al.*, 2001, *Barzaghi et al.*, 2004, *Biagi et al.*, 2006, *Cina et al.*, 2004) testimoniano che il rilievo in tempo reale, con soluzione di fase ad ambiguità fissate, in modalità statica e supportato da una rete di servizio può normalmente fornire accuratezze di alcuni centimetri; vi sono comunque situazioni ben precise in cui si deve o è opportuno ancora ricorrere al post-processamento dei dati. In primo luogo, molto banalmente, per il processamento di rilievi svolti in siti ove non fosse disponibile il segnale per la connessione dell'utente al servizio. Inoltre, pur in presenza di segnale, vi sono condizioni di rilievo in cui il processamento in tempo reale, meno robusto del post-processamento, non arriva alla convergenza dei risultati: ciò tipicamente può avvenire in siti ostruiti o comunque con mediocre configurazione satellitare. Infine solo un eventuale post-processamento dei dati potrebbe fornire una verifica a posteriori dei risultati ottenuti in tempo reale: anche se la situazione non è ancora corrente e normata, si ritiene che tale prassi potrà in un futuro costituire un metodo di collaudo per rilievi in tempo reale. Per tali motivi, anche in un rilievo finalizzato al tempo reale, è opportuno sin d'ora suggerire la registrazione nel ricevitore dei dati grezzi.

Il post-processamento dei dati è, almeno allo stato attuale, preferibile e più conservativo rispetto all'elaborazione in tempo reale per la ricostruzione con accuratezze centimetriche di traiettorie (rilievi cinematici): naturalmente tale situazione potrebbe mutare in un prossimo futuro, con l'introduzione di nuove frequenze nel GPS, il completamento della costellazione GLONASS e l'avvio di Galileo. Infine, sicuramente le applicazioni per cui siano richieste accuratezze subcentimetriche richiedono il rilievo statico e il post-processamento dei dati: tale situazione non cambierà nel futuro prossimo, neppure con l'ulteriore sviluppo dei servizi di rete e l'introduzione di nuovi sistemi satellitari.

Il gestore della rete deve considerare e progettare attentamente, prima ancora di predisporre a realizzare la rete, le seguenti questioni:

1. le caratteristiche tecniche di ricevitori, l'hardware (nel seguito HW), i programmi (nel seguito SW) e l'installazione di tutte le SP;
2. le funzionalità del servizio in tempo reale: non è detto infatti che il servizio debba funzionare 24 ore al giorno e ogni giorno, anche se ciò è auspicabile soprattutto se viene gestito da enti tra i cui compiti ricadono anche interventi in situazioni di emergenza;
3. viceversa, in ogni caso, i dati per il post-processamento debbono essere presenti per ogni ora e ogni giorno della settimana: la continuità, anche notturna, dei dati è particolarmente rilevante non tanto per gli utenti del servizio, quanto per lo scopo del monitoraggio delle coordinate delle SP e per le applicazioni scientifiche;
4. il numero di utenti contemporaneamente supportabili in varie modalità, che è legato strettamente al tipo di servizi forniti dalla rete: ad esempio la diffusione di uno o più segnali di correzione mediante parametri d'area è praticamente indipendente dal numero di utenti, mentre la trasmissione di stazioni di riferimento virtuali impegna il calcolo e la diffusione in maniera strettamente dipendente dal numero di connessioni;
5. l'HW presso il centro di controllo: server, rete, modem, porte disponibili, devono essere adeguati al servizio; devono inoltre essere previste le salvaguardie elettriche: gruppi di continuità e salvaguardie informatiche per la gestione dei dati, i backup speculari del sistema, gli aggiornamenti di antivirus e del sistema operativo;
6. il SW presso il centro di controllo, o alcuni suoi moduli, debbono essere dedicati al controllo remoto ed alla verifica della funzionalità delle SP: normalmente è bene che il centro abbia il controllo completo delle SP, e non solo la possibilità di acquisire da queste stringhe continue di dati;
7. infine, ma non ultime, occorre definire le modalità di pubblicizzazione e di erogazione dei servizi in tempo reale, come pure le modalità di erogazione dei servizi in post-processamento, prevedibilmente basate su un sito Internet.

Quindi una rete finalizzata alla distribuzione di servizi di posizionamento dovrebbe necessariamente definire una "carta dei servizi" che il gestore della rete si impegna a garantire all'utenza con le relative caratteristiche di accuratezza ed affidabilità; ciò vale ovviamente per servizi a pagamento, ma dovrebbe costituire elemento fondante anche per reti gratuite: la chiara definizione di accuratezze e affidabilità garantite sono l'unica via per perseguire effettivamente la diffusione dei metodi GNSS nella prassi del rilievo.

La stesura di una carta dei servizi dovrebbe conseguentemente implicare anche un controllo sul rispetto della stessa: ciò, a stretto rigore, richiede l'esistenza di un'autorità nazionale con compiti di certificazione nel settore geodetico, che è attualmente assente in Italia. In questa fase transitoria si può solo formulare un'ipotesi operativa: una rete di servizio si dota di una consulta tecnico-scientifica indipendente che può, ad esempio, essere composta da rappresentanti del mondo universitario, degli enti pubblici e degli ordini professionali fruitori dei servizi; periodicamente la consulta effettua test di buon funzionamento del servizio e relaziona pubblicamente i risultati.

3 IL PROGETTO (DISEGNO) DELLA RETE

Nel progetto generale di una rete di SP GNSS, riveste una scelta particolare la configurazione geometrica della rete stessa cioè in pratica la scelta dei siti di installazione.

Tale scelta va fatta a due scale diverse. A livello generale si deve tenere conto principalmente della configurazione del territorio da coprire e di un parametro geometrico fondamentale che è la interdistanza tra le stazioni. In base a questi elementi si definisce la localizzazione di massima dei ricevitori. A livello particolare per ogni ricevitore si deve trovare un sito rispondente ai criteri esposti altrove e che si riferiscono alla assenza di ostacoli e di interferenze ed alla convenienza logistica (luogo protetto, accessibilità, disponibilità di energia e di linee di trasmissione dei dati). Questa scelta di dettaglio dovrebbe modificare il progetto generale della rete spostando le stazioni al massimo di alcuni chilometri.

Sia il disegno generale sia la scelta di dettaglio si fanno con criteri diversi a seconda dello scopo della rete. Per questo conviene distinguere tra reti dedicate soprattutto al monitoraggio geofisico e reti dedicate soprattutto a servizi per il rilievo topografico. Infatti reti di servizio e reti di monitoraggio pongono requisiti e quindi problemi di progettazione completamente differenti. Giusto a titolo di esempio, ciò è sicuramente vero per la geometria della rete: vedremo quali linee debbano guidare la progettazione di reti di servizio; nel caso del monitoraggio il disegno di rete è viceversa condizionato dalla forma delle strutture attive (faglie o altro) il cui comportamento si vuole analizzare. È altrettanto vero per la localizzazione di dettaglio; nell'installare una SP per servizi in tempo reale si dovranno privilegiare la bontà di connessione alla rete dati e l'accessibilità per interventi manutentivi: ovvero una SP per servizi in tempo reale sarà tipicamente monumentata su edifici abitati. Viceversa le SP per il monitoraggio devono essere monumentate in siti geologicamente significativi (Aoudia et al, 2005); per contro, almeno tipicamente, non richiedono una connessione dati per il tempo reale.

Dati gli scopi del presente lavoro, nel seguito si concentrerà l'attenzione unicamente sulle SP per scopi di servizio. Si ricorda unicamente che non sempre una SP riesce a servire simultaneamente entrambi gli scopi; diversi esempi già in fase di realizzazione testimoniano che in taluni casi può risultare conveniente, se non necessario, installare due SP a poca distanza l'una dall'altra per assolvere i diversi scopi, piuttosto che tentare soluzioni comuni e di compromesso.

3.1 I criteri per la configurazione generale di reti di servizio

Si deve tenere conto della forma del territorio da coprire che generalmente coincide con una entità amministrativa (Regione). Un territorio di estensione modesta con perimetro frastagliato può condurre a scelte tecnicamente ed economicamente non ottimali, ma questo è un problema superabile solo con il coordinamento e lo scambio di dati fra reti contigue che sono tecnicamente possibili, sarebbero sempre opportuni, ma non sono facili da impostare.

Inoltre si deve considerare che le correzioni di rete vengono generalmente parametrizzate nello spazio mediante superfici polinomiali di basso ordine: la geometria della rete deve quindi essere robusta rispetto a eventuali malcondizionamenti nel processo di stima delle correzioni. Ciò implica, in generale, di privilegiare una buona disposizione di SP sul perimetro del territorio interessato, piuttosto che una maggior densità di SP nelle zone centrali; nello specifico di regioni con forma allungata, come ad esempio in figura 1, tale approccio suggerisce di evitare schemi che privilegino la minima distanza fra le SP (a sinistra) e di privilegiare schemi apparentemente più dispersi ma meglio condizionati (a destra). Naturalmente tale scelta implica che, a pari numero di SP, vi sia maggiore interdistanza reciproca fra le stesse: anche in questo caso il problema potrebbe essere superato con uno stretto coordinamento fra reti contigue.

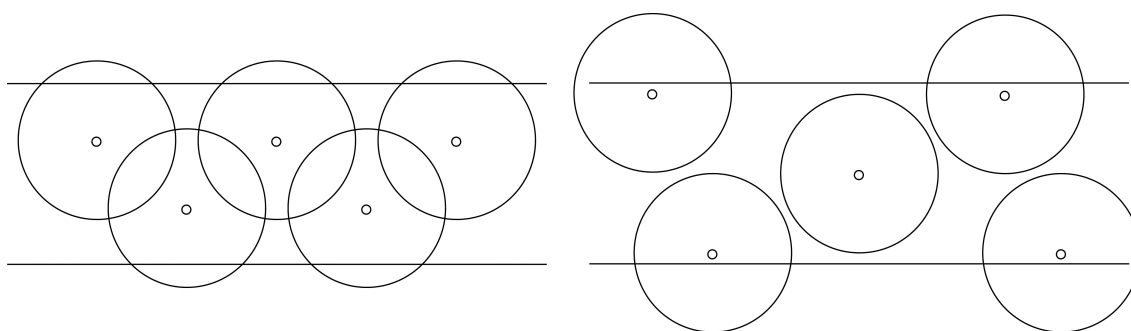


Figura 1. Esempio di territorio allungato. A pari numero di SP, a sinistra bassa interdistanza delle SP ma configurazione malcondizionata, a destra elevata interdistanza ma configurazione ben condizionata.

La collocazione delle SP può essere studiata preliminarmente immaginando di coprire il territorio di interesse con una rete a maglie triangolari, le più regolari possibile e con lato dei triangoli vicino ad un valore prefissato.

Esistono esperienze maturate in ambito scientifico che parlano di soluzioni in tempo reale soddisfacenti con basi di 100-300 km (*Grejner-Brzezinska et al.*, 2005). Si tratta però di risultati ottenuti con tecniche di elaborazione particolarmente raffinate e schemi di trasmissione dati che non sono degli standard. La soluzione raccomandabile su base essenzialmente empirica è la scelta di una distanza tra SP sempre inferiore a 100 km. In alcune condizioni, per esempio in territorio montuoso, conviene scegliere per prudenza distanze ancora inferiori (entro i 60 km). I potenziali problemi posti dal territorio montuoso sono essenzialmente tre:

1. non sappiamo come si comportano i modelli interpolativi che generano le correzioni di rete quando le stazioni permanenti sono a quote molto diverse;
2. in territorio montano può essere inevitabile di scendere a compromessi nella collocazione delle SP, cioè accettare siti con qualche ostruzione e questo potrebbe ridurre il numero di satelliti disponibili;
3. infine si deve tenere conto che in zone montuose vi possono essere delle aree relativamente vaste (con raggio di qualche decina di chilometri) di territorio impervio e privo di insediamenti adatti ad ospitare una SP.

Si deve poi tenere conto delle opportunità o convenienze particolari legate alle situazioni locali: sarà difficile, per esempio, non installare una SP nel capoluogo amministrativo della entità che promuove la realizzazione della rete. È essenziale ribadire che, in un'ottica di aumento della ridondanza generale della rete, tali opportunità o convenienze non pongono problema: è però essenziale che non indeboliscano la configurazione geometrica nelle restanti parti del territorio servito.

Da ultimo, è ammissibile che alcune zone del territorio siano al di fuori del perimetro della rete se non sono troppo distanti (15-20 km) dalla SP più vicina.

3.2 I criteri e i vincoli per la localizzazione di dettaglio

Le principali linee guida che dovrebbero essere seguite per quanto riguarda la localizzazione preliminare dei siti sono le seguenti:

1. l'antenna e il ricevitore saranno localizzati presso strutture vigilate e non accessibili ad estranei;
2. antenna e ricevitore dovranno essere accessibili al personale del Servizio in orari lavorativi diurni; è preferibile che l'accessibilità sia garantita sulle 24 ore;
3. è opportuna la presenza di personale di riferimento in loco per consentire sopralluoghi immediati in caso di anomalie di funzionamento.

È ovviamente opportuno che i siti siano collocati presso strutture dotate di alimentazione elettrica e connessione alla rete dati e che non si trovino in zone potenzialmente interessate da eventi catastrofici in generale come, ad esempio, frane, alluvioni, esondazioni, slavine, valanghe, incendi. Per la monumentazione dell'antenna, nel presente lavoro, si analizzano unicamente le SP di puro servizio; per queste una tipica installazione potrebbe essere su una struttura artificiale, quale ad esempio un tetto di edificio.

I requisiti per l'ubicazione dell'antenna sono i seguenti:

1. le costruzioni circostanti devono essere più basse e distare almeno 10-15 metri; la distanza dovrebbe aumentare per edifici di dimensioni maggiori;
2. in generale la visibilità del cielo sopra l'antenna deve essere completamente libera al di sopra di un cutoff di elevazione preferibilmente pari a 5°; sono da considerarsi ostruzioni tutte le strutture artificiali di qualunque natura e gli elementi naturali del territorio, compresa la vegetazione;
3. non devono esservi superfici riflettenti vicino all'antenna; sono da considerarsi come riflettenti ampie superfici vetrate, grate, recinti, ponteggi, palizzate di metallo, specchi d'acqua;
4. in prossimità dell'antenna non devono esservi ripetitori televisivi, per telefonia mobile e ponti radio (tipicamente stazioni di polizia, vigili del fuoco, ospedali), elettrodotti, stazioni radiotelevisive.

3.3 La validazione finale dei siti

Su tutti i siti dovranno essere effettuate prove di acquisizione nelle seguenti modalità:

1. identificazione o segnalazione di un caposaldo provvisorio entro al più 5 metri dal sito definitivo;
2. installazione della strumentazione sul caposaldo mediante treppiede, ancorato ove necessario per garantire stabilità migliore del cm durante l'acquisizione;
3. misura dell'altezza d'antenna rispetto al caposaldo, ripetuta 3 volte sia all'inizio sia alla fine del rilievo;
4. 48 ore di acquisizione continua con strumentazione preferibilmente uguale a quella che verrà utilizzata per le SP;
5. intervallo di acquisizione di 1 secondo, angolo minimo di elevazione a 0°.

Qualora le prove di acquisizione vengano affidate in appalto si suggerisce di richiedere, oltre ai file di dati in formato RINEX, la documentazione attestante:

1. le date e gli orari di inizio e fine misura;
2. la strumentazione utilizzata per la prova;
3. le altezze d'antenna misurate;
4. le fotografie digitali dell'installazione prese dai 4 punti cardinali;
5. le fotografie digitali dell'installazione prese in direzione dei 4 punti cardinali.

L'analisi di qualità del sito potrà essere condotta innanzitutto mediante il controllo di qualità delle osservazioni, ovvero la valutazione del rumore correlato e scorrelato e della numerosità dei cycle slip: ciò può essere fatto con programmi facilmente acquisibili, come ad esempio TEQC (<http://www.unavco.org/facility/software/teqc/teqc.html>) o QC2SKY (<http://www.vercelli.polito.it/civili/topo0105.htm>); dovrebbe inoltre essere condotta la compensazione della sessione, ripartita in 8 sottosessioni di 6 ore, rispetto ad altre SP di coordinate note, tipicamente della rete globale IGS (*Beutler et al.*, 1999, <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/>) o della rete europea EPN (*Adam et al.*, 1999, <http://www.epncb.oma.be/>); a partire dalla compensazione sarà possibile effettuare sia l'analisi dei residui di osservazione relativi alle compensazioni delle singole sottosessioni sia l'analisi di coerenza e ripetibilità dei risultati forniti dalle sottosessioni. Si dovrebbe accettare definitivamente il sito qualora tali analisi non evidenzino problemi significativi rispetto ai parametri di qualità normalmente accettati per le stazioni permanenti in sede internazionale (vedi siti EPN e IGS).

4 L'INSTALLAZIONE DELLE STAZIONI PERMANENTI

Nel presente paragrafo si analizzano quali siano i requisiti essenziali per una corretta installazione delle SP, ovvero le caratteristiche della strumentazione e le regole operative per la corretta messa in opera della SP.

4.1 Le caratteristiche di ricevitori e antenne

Indipendentemente dalla marca, ormai tutti i ricevitori per SP possono operare in connessione diretta, da remoto, con un centro di controllo, senza la necessità di un PC connesso localmente; sotto tale ipotesi si suggerisce di configurare il sistema: infatti lo schema proposto rappresenta quello che pone minori problemi di gestione della rete (si vedano i relativi paragrafi). Senza definirne pedissequamente le caratteristiche elettroniche, peraltro in continua evoluzione, i ricevitori dovranno ovviamente rappresentare lo stato dell'arte della tecnologia GNSS per SP. Visti gli scopi di servizio sono inoltre essenziali le seguenti caratteristiche:

1. possibilità di campionamento dei dati ad almeno 1 Hz;
2. possibilità di trasmissione al centro di controllo in tempo reale dei dati di codice e di fase in formato proprietario e nel formato RTCM più recente;
3. presenza di una porta di rete RJ45 che supporti i protocolli Ethernet;
4. presenza di ulteriori 3 interfacce seriali o USB per ulteriori connessioni; ad esempio un'eventuale connessione dati di backup, una connessione mediante PC locale e una centralina meteo;
5. presenza di una memoria interna al ricevitore in grado di archiviare almeno 120 ore di dati acquisiti con campionamento dei dati a 1 secondo;
6. capacità di memorizzare contemporaneamente i dati nella memoria interna del ricevitore e di trasmetterli al centro di controllo (in modo autonomo: ftp push, o comandato dal centro).

Sono inoltre considerate caratteristiche aggiuntive e utili le seguenti:

1. possibilità di campionamento dei dati con frequenza maggiore di 1 Hz (5 o 10 Hz);
2. possibilità di fornire in output un segnale di sincronizzazione di tempo;
3. possibilità di ricevere un segnale di sincronizzazione esterno (orologio atomico) e disponibilità della relativa porta di ingresso;
4. apposito SW per gestire le misure di pressione, temperatura e umidità acquisite da un'eventuale centralina meteo collegata al ricevitore GNSS.

Collegato a una prima porta di alimentazione della SP deve essere previsto un gruppo di continuità, a sua volta connesso all'alimentazione elettrica. Il gruppo di continuità dovrà garantire la piena funzionalità dell'intera SP per almeno 120 ore; inoltre il gruppo di continuità dovrà poter segnalare in automatico al centro di controllo i malfunzionamenti dell'alimentazione elettrica. Il ricevitore dovrebbe disporre di due porte di alimentazione o, in alternativa, di batterie interne, in modo da garantire la continuità di funzionamento durante la sostituzione o interventi manutentivi del gruppo di continuità.

Tutte le componenti della SP devono potersi riavviare automaticamente in seguito a caduta di corrente, con la medesima configurazione presente prima dello spegnimento forzato.

L'antenna della SP dovrà essere di tipo Choke Ring Dorne Margolin o equivalente; il cavo di collegamento coassiale fra antenna e ricevitore dovrà essere a minima attenuazione, opportunamente intestato con connettori adeguati agli standard UNAVCO; per quei siti ove la distanza fra antenna e ricevitore dovesse risultare maggiore di 30 metri sarà opportuno utilizzare amplificatori di segnale lungo il cavo stesso.

4.2 La monumentazione dell'antenna

Il pilastro di supporto dell'antenna può essere realizzato indifferentemente in cemento armato, acciaio inossidabile o altri materiali che garantiscano qualità e durabilità nel tempo. Il pilastro deve inoltre essere monumentato in modo da minimizzare effetti di multipath dovuti al pilastro stesso, in accordo alle linee guida UNAVCO (<http://www.unavco.org/>).

Il pilastro deve avere un dimensionamento tale da garantirne la solidità e l'assoluta resistenza a vibrazioni e deformazioni lente nel tempo; si pone una tolleranza di 0.5 mm per tali aspetti strutturali. In particolare, per garantire la rigidità della struttura, la distanza fra ancoraggio del pilastro e innesto dell'antenna deve essere il più possibile contenuta; contemporaneamente deve essere tale da garantire buona visibilità al cielo e garantire adeguata sicurezza fisica con riguardo al passaggio di animali, estranei o ad altre attività che vengano svolte nei pressi del sito.

Sulla sommità del pilastro deve essere materializzato un punto di precisione geodetica, sulla cui

verticale sia collocato l'innesto a centramento forzato per l'antenna. Eventualmente il punto geodetico può coincidere con l'innesto stesso; qualora ciò non implichi un significativo aggravio di costo, è preferibile una soluzione in cui al pilastrino sarà ancorata una basetta (o altro tipo di supporto) a viti calanti, che fornisca l'innesto per l'antenna. L'innesto deve garantire la possibilità di bloccare l'antenna in posizione perfettamente orizzontale e in modo che il suo centro geometrico sia esattamente sulla verticale del punto geodetico. In ogni caso deve essere possibile misurare con precisione del decimo di mm la distanza verticale fra base dell'antenna e il punto geodetico.

L'ancoraggio del pilastrino dovrebbe essere realizzato rispetto alla struttura portante dell'edificio o del manufatto, in modo da non risentire di vibrazioni episodiche, deformazioni di stucchi, malte, etc; l'ancoraggio deve inoltre essere progettato in modo da garantire la sua massima stabilità rispetto alla struttura.

4.3 L'alloggiamento del ricevitore

Il ricevitore sarà ospitato in ambiente chiuso, o comunque isolato dalle intemperie e provvisto di alimentazione elettrica, e alloggiato in un armadio rack con serratura. Il cavo di connessione fra antenna e ricevitore, la cui lunghezza non dovrebbe essere superiore a 30 m, dovrà essere inserito in una guaina protettiva e isolante. Nel caso di installazione in un unico edificio, ove tecnicamente possibile, il cavo correrà nei cavedii dell'edificio ospitante; ove non possibile si dovrà realizzare una canalina rigida opportunamente ancorata alla struttura. Nel caso di passaggio in terreno aperto dovranno essere studiate soluzioni adeguatamente protette.

4.4 La rete di controllo locale

Per il controllo topografico periodico delle deformazioni del pilastrino, deve essere monumentata una rete locale di almeno tre vertici planoaltimetrici; i suddetti vertici dovrebbero:

1. permettere uno stazionamento di precisione mediante centramento forzato;
2. preferibilmente essere in visibilità reciproca e rispetto al punto geodetico fondamentale del pilastrino;
3. preferibilmente a una distanza inferiore a 20 m dal pilastrino, e approssimativamente alla sua stessa quota;
4. preferibilmente costituire una poligonale regolare, centrata sul pilastrino;
5. preferibilmente, essere all'interno della proprietà in cui si trova il punto geodetico fondamentale.

È caratteristica utile che la rete di controllo e l'installazione dell'antenna siano strutturate in modo da poter effettuare collimazioni dai vertici al pilastrino, anche senza dovere smontare l'antenna stessa.

Ove possibile, ovvero per SP su tetti piani e sufficientemente ampi, la rete sarà sul medesimo tetto; in altro caso i vertici saranno monumentati al suolo, nelle immediate vicinanze dell'edificio o manufatto.

5 LA CONNESSIONE DATI FRA LE STAZIONI PERMANENTI E IL CENTRO DI CONTROLLO

La rete di trasmissione dei dati e di comunicazione fra SP e centro di controllo presenterà una topologia a stella il cui centro corrisponde con il centro di controllo e le diramazioni con le SP. Il dimensionamento della banda minima necessaria deve evidentemente tenere conto del traffico, ovvero la trasmissione dei dati in tempo reale e lo scaricamento periodico dei dati per il post-processamento dalle SP al centro di controllo; nel dimensionamento non si considerano, perché non significative dal punto di vista del volume di traffico, le operazioni di controllo e configurazione effettuate periodicamente dal centro di controllo sulle SP.

La trasmissione dei dati per il tempo reale richiede allo stato attuale una banda di circa 10 kbit/s per ogni SP: in un prossimo futuro, con l'aumento delle frequenze e delle costellazioni di satelliti è ovviamente prevedibile un aumento di carico, che comunque dovrebbe sempre rimanere contenuto entro i circa 60 kbit/s: la richiesta di carico è quindi abbastanza contenuta; per contro, al fine di garantire l'affidabilità dei servizi in tempo reale, vi è un'esigenza di minima latenza di trasmissione.

Si suppone che la trasmissione dei dati per il post-processamento avvenga su base oraria; il volume di

traffico impegnato dipende dal metodo adottato per la compressione dei dati, variabile da ricevitore a ricevitore: si può comunque ipotizzare un limite superiore di un paio di MByte ad ogni scaricamento, per ogni SP.

In totale quindi il carico richiesto è poco impegnativo in termini di banda totale occupata. Per garantire l'affidabilità dei servizi in tempo reale è però fondamentale che le trasmissioni siano caratterizzate da alta stabilità: tale requisito, anche in base alle esperienze già accumulate, può essere soddisfatto adottando presso le SP dei collegamenti ADSL su rete frame relay dedicata, con banda minima garantita: tale soluzione è proposta da tutti i gestori di telefonia.

Naturalmente la connessione del centro di controllo alla rete dati deve tenere conto della necessità di acquisire contemporaneamente da tutte le SP, come anche di distribuire dati alla propria utenza: pertanto presso il centro di controllo dovrebbe essere presente un router che gestisca collegamenti HDSL, perlomeno a 2 Mbit/s.

È possibile prevedere un canale di comunicazione di backup fra SP e centro di controllo, almeno per la trasmissione dei dati in tempo reale: anche se attualmente non vi sono esperienze già realizzate in tal senso, questo potrebbe ad esempio essere realizzato mediante un radiomodem GPRS, collegato alla porta seriale del ricevitore. Tale soluzione è ovviamente in generale meno performante e meno stabile del collegamento mediante rete fissa: perché la sua esistenza risulti davvero efficace, il sistema di gestione della rete dovrà quindi essere in grado di commutare automaticamente fra il canale principale e quello di backup, sempre e solo in caso di grave malfunzionamento del primo.

6 IL CENTRO DI CALCOLO

Non si discute nel presente lavoro il dimensionamento del HW installato presso il centro di controllo: questo è dettato dal numero delle SP della rete, dai requisiti del SW di governo e analisi e dal numero massimo di utenti supportati. I requisiti HW devono quindi essere chiaramente definiti dal fornitore del SW di governo e analisi della rete.

Si nota un unico aspetto: è ovviamente necessario prevedere strumenti di backup efficienti e robusti dei dati e delle configurazioni dei server, in modo che, in caso di gravi malfunzionamenti, la piena funzionalità del sistema possa essere rapidamente ripristinata. Un passo ulteriore può essere quello di disporre di un vero e proprio mirror del sistema, in grado di subentrare automaticamente, ovvero senza alcuna interruzione nell'erogazione dei servizi: non ci risulta che allo stato attuale vi siano casi implementati in tale direzione. Si ricorda che gli archivi di backup, come il mirror di sistema, devono essere conservati/installati in un luogo diverso, o comunque ben isolato, rispetto al sistema principale. Nel seguito si discutono le funzionalità essenziali del SW di governo e analisi installato presso il centro di controllo.

6.1 Le caratteristiche del SW di governo e analisi della rete

Il SW della rete deve includere moduli installati nei ricevitori, nelle apparecchiature del centro di controllo e in un calcolatore (tipo PC portatile) temporaneamente collegato per operazioni di manutenzione e controllo dei ricevitori.

Le richieste seguenti non dettano indicazioni sulla struttura del SW, ma descrivono le funzioni che esso deve svolgere e alcune caratteristiche generali.

Il SW del centro di controllo deve funzionare con un HW e un sistema operativo facilmente reperibili. Lo stesso SW deve presentare una interfaccia utente ergonomica e di semplice utilizzo. Le funzioni svolte dal SW della rete si considerano suddivise in sei aree principali:

1. verifica del funzionamento delle SP e generazione di eventuali allarmi,
2. regolazione dei parametri di configurazione dei ricevitori,
3. trasferimento e archiviazione dei dati,
4. gestione dei dati della rete nel suo complesso,
5. elaborazione dei dati (per la generazione delle correzioni differenziali e di altri prodotti),
6. distribuzione dei prodotti all'utenza.

Le verifiche e le operazioni che riguardano la singola SP devono essere possibili sia dal centro di controllo sia da un PC portatile connesso temporaneamente in locale.

Le operazioni di verifica del funzionamento dei ricevitori, regolazione dei parametri di configurazione e trasferimento e archiviazione dei dati devono essere eseguibili in modo unificato dal centro di controllo mediante dialogo simultaneo e/o coordinato con tutte le SP.

6.1.1 La verifica del funzionamento dei ricevitori

Dovrà essere possibile verificare almeno:

1. lo stato dell'alimentazione (comunicata dal ricevitore o dal sistema di alimentazione),
2. lo stato delle linee di comunicazione,
3. i satelliti in visibilità e regolarmente acquisiti, con i rapporti segnale rumore.

Le verifiche di corretto funzionamento dovranno lavorare anche in automatico e, sempre in automatico, elevare opportuni allarmi presso il centro di controllo e mediante comunicazioni telematiche.

6.1.2 Regolazione dei parametri di configurazione dei ricevitori

Dovrà essere possibile controllare i seguenti parametri:

1. aggiornamento del SW e del firmware del ricevitore,
2. reset del ricevitore e ripristino della configurazione base,
3. impostazione dei parametri della stazione, secondo gli standard IGS:
4. marker name e marker number, tipo e altezza d'antenna;
5. scelta della maschera di elevazione,
6. attivazione e disattivazione dell'acquisizione dei dati,
7. intervallo di campionamento dei dati,
8. attivazione e disattivazione del trasferimento dati,
9. per i file da archiviare nella memoria interna del ricevitore, scelta della durata dei file,
10. scelta del formato o dei formati (proprietario, RTCM o altri eventuali) per la trasmissione dei dati.

6.1.3 Trasferimento al centro di controllo e archiviazione dei dati

Dovrà essere possibile:

1. nell'eventualità in cui si predisponga una linea di trasmissione secondaria di backup, scegliere in automatico il canale di trasferimento dei dati dal ricevitore al centro di controllo, in funzione dello stato dei due canali di trasmissione ipotizzati;
2. trasferire in automatico e in tempo reale i dati per il posizionamento relativo in tempo reale, di codice e di fase, in formato proprietario e nel formato RTCM più recente;
3. trasferire in automatico gli ultimi file memorizzati nel ricevitore e non ancora trasferiti;
4. trasferire in manuale qualunque file ancora in memoria nel ricevitore;
5. scegliere in modo non esclusivo il formato (proprietario, RINEX, RINEX compresso) di archiviazione dei dati GPS presso il centro di controllo;
6. scegliere in modo non esclusivo l'intervallo di campionamento e la durata delle sessioni di osservazione per l'archiviazione dei file di dati GPS.

Può risultare altresì utile la possibilità di archiviare presso il Centro di Controllo le correzioni generate in tempo reale dal ricevitore, soprattutto in previsione della fornitura di servizi certificati.

6.1.4 La gestione complessiva della rete

Le operazioni descritte nei punti precedenti dovranno essere applicabili all'insieme dei ricevitori mediante un unico programma di controllo della rete. Tutte le operazioni automatiche (ovvero verifica di funzionamento, trasferimento e archiviazione dei dati) dovranno essere pianificabili. Il SW dovrà provvedere al calcolo automatico di alcuni parametri per la valutazione del buon funzionamento dei ricevitori e della rete nel suo complesso; si indicano a titolo di esempio:

1. valutazione del numero di dati acquisiti rispetto a quelli acquisibili;

2. valutazione del numero di dati in singola frequenza rispetto a quelli in doppia frequenza;
3. stima della percentuale di dati identificati come outlier rispetto ai dati acquisiti;
4. stima del livello di rumore delle misure di codice e fase.

Il SW dovrà consentire inoltre:

1. la generazione e invio di rapporti sullo stato generale della rete;
2. la gestione razionale e backup automatico dei database associati alle stazioni (monografie, rapporti di funzionamento e qualità, dati grezzi e derivati);
3. la capacità di dialogare anche con ricevitori di marca e/o tipo diversi da quelli acquisiti per la realizzazione della rete;
4. la capacità di assorbire dati provenienti da stazioni diverse da quelle inizialmente previste nella rete;
5. l'adeguamento automatico a situazioni mutevoli (es.: interruzioni accidentali temporanee del collegamento con uno o più ricevitori);
6. l'archiviazione delle misure e degli altri dati in un archivio razionalmente strutturato e facilmente accessibile.

6.1.5 L'elaborazione dei dati e l'erogazione dei servizi

Il SW del centro di controllo dovrà eseguire le seguenti operazioni:

1. compensazione periodica (post-processamento) della rete;
2. stima in tempo reale dei disturbi e degli errori sulle osservazioni di codice e fase delle SP;
3. modellazione di rete dei disturbi e degli errori e stima delle correzioni;
4. adeguamento automatico del processo di calcolo a situazioni mutevoli.

In particolare, a livello di erogazione dei servizi, il SW della rete dovrà eseguire le seguenti operazioni:

1. generazione dei dati da distribuire agli utenti per il posizionamento relativo in tempo reale;
2. generazione dei dati da distribuire agli utenti per il posizionamento relativo in post-processamento;
3. possibilità di gestione e rendicontazione delle richieste di accesso da parte degli utenti.

Dati, osservazioni e prodotti per il tempo reale e per il post-processamento devono essere generati sfruttando in modo combinato e ottimale le misure di tutte le SP della rete: senza entrare nel merito dei singoli programmi si ricorda che, allo stato attuale, i SW per l'erogazione dei servizi di rete commercializzati in Italia sono GNSMART, prodotto dalla Geo++ (*Bagge et al.*, 2004), SpiderNet, prodotto dalla Leica (*Leica*, 2005) e VRS, prodotto dalla Trimble (*Landau et al.*, 2002). Evidentemente non si può escludere che in un prossimo futuro vengano pienamente sviluppati e commercializzati altri programmi, come ad esempio quello attualmente in studio presso l'Università di Calgary (*Fotopoulos*, 2000).

Per la distribuzione dei dati verso l'utenza per il posizionamento in tempo reale, deve essere previsto il formato RTCM più recente (attualmente RTCM 3.0, *RTCM*, 2004) ma anche, per i ricevitori di generazione precedente, i formati più rilevanti rilasciati in precedenza (attualmente, il RTCM 2.3 (*RTCM*, 2001)). Allo stato attuale delle tecniche di distribuzione dei dati in tempo reale, si ritiene che il protocollo di trasmissione preferibile sia quello NTRIP ((Networked Transport of RTCM via Internet Protocol, basato su standard HTTP, *AAVV*, 2004), mediante Internet (per i dettagli si veda il Capitolo successivo).

Le osservazioni e i prodotti per il post-processamento devono essere calcolati a partire dai dati delle SP scaricati periodicamente con modalità robuste e controllate, e non dalle correzioni già generate in tempo reale: questa condizione risulta infatti più conservativa rispetto a eventuali problemi di connessione dati fra SP e centro di calcolo occorsi nel tempo reale.

ACRONIMI ADOTTATI

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line; EPN: European Permanent Network; FKP: Flächenkorrekturparameter: Parametri di correzione piana; GLONASS: GLOBal NAVigation Satellite System; GNSS: Global Navigation Satellite Systems; GPRS: General Packet Radio Service; GPS: Global

Positioning System; HDSL: High Data Rate Digital Subscriber Line; HTTP: Hyper Text Transfer Protocol; HW: hardware; IGS: International GNSS Service; IREALP: Istituto per la Ricerca per l'Ecologia e l'Economia Applicate alle Aree Alpine; MAX: Master Auxiliary Correction; NTRIP: Networked Transport of RTCM via Internet Protocol; RINEX: Receiver Independent Exchange Format; RTCM: Radio Technical Commission for Maritime Services SP: Stazione/i Permanente/I; SW: software; UNAVCO: University NAVSTAR Consortium; USB: Universal Serial Bus; VRS: Virtual Reference Station.

BIBLIOGRAFIA

- AAVV, *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP), version 1.0*, http://igs.ifag.de/index_ntrip.htm, 2004.
- Adam J., et al, *The European Reference System coming of age*, Geodesy Beyond 2000, IAG General Assembly, Birmingham July 1999, K. P. Schwarz eds., IAG Symposia, Vol. 121, Springer-Verlag, Berlin, 1999.
- Aoudia A., Barzaghi R., Borghi A., Sabadini R., Marotta A. M., Panza G., Troisi C., Manzano A. M., Roggero M., Lucchetta A., Carraro C., Zampedri G., Laffi R., Crotta S., De Donatis S., Gerbino P. G., Sguerso D., Voelksen C., Drewes H., Valpersdorf A., Zivcic M., *Il progetto ALPS-GPSQuakenet*, Atti della 8a Conferenza Nazionale ASITA, Roma, 2004.
- Bagge, A., Wübbena G., Schmitz M., *Introduction into Real-Time Network Adjustment with Geo++® GNSMART*, Geoinformation Workshop 2004, Istanbul Kultur University, Antalya, Turkey, September, 2004.
- Barzaghi R., Betti B., Biagi L., Casella V., Crespi M., Franzini M., Manzano A. M., Mazzoni A., Piras M., Roggero M., Scuratti M., Tornatore V., *Rilievi GPS-RTK e stazioni permanenti GPS: sperimentazione del sistema RIR*, Atti della 8a Conferenza Nazionale ASITA, Roma, 2004.
- Belluomini P., Biagi L., Sansò F., Scuratti M., Novembre C., *Il servizio di posizionamento della Regione Lombardia: stato di avanzamento*, Atti della 8a Conferenza ASITA, Roma, 2004.
- Beutler G., Rothacher M., Schaer S., Springer T.A., Kouba J., Neilan R.E., *The International GPS Service (IGS): An Interdisciplinary Service in Support of Earth Sciences*, Adv. Space Res. Vol. 23, No. 4, 1999.
- Biagi L., Crespi M., Manzano A. M., Sansò F., Roggero M., *Guidelines to an optimal adjustment of local service permanent networks within a dynamic world: a first proposal*, <http://geomatica.como.polimi.it/prin/>, 2005.
- Biagi L., Crespi M., Manzano A., Sansò F., *I servizi di posizionamento basati su reti di stazioni permanenti GNSS*, relazione invitata alla 9° Conferenza ASITA, 2005, Catania, in pubblicazione sul Bollettino SIFET n°1, 2006.
- Biagi L., Sansò F. eds, AAVV, *Il Servizio di Posizionamento in Regione Lombardia e la prima sperimentazione sui servizi di rete in tempo reale*, Bollettino SIFET n° 1, 2006.
- Buffoni D., Revolti R., Vitti A., Zatelli P. *Realizzazione di una rete di stazioni permanenti GPS per un nuovo "Ufficio per il Posizionamento" della Provincia Autonoma di Trento*, Atti della 9° Conferenza ASITA, Catania, 2005
- Cina A., Manzano A., Piras M., Roggero M., *Rete test in Piemonte, impianto e risultati*, in Bollettino SIFET, No 2, 2004.
- Dousa J., *On the specific aspects of precise tropospheric path delay estimation in GPS analysis*, IAG Symposia 2001, vol. 125, Springer, 2001.
- Euler, H-J., Keenan, C.R., Zebhauser, B.E. and Wuebbena, G., *Study of a Simplified Approach in Utilizing Information from Permanent Reference Station Arrays*, ION GPS 2001, September 11-14, 2001, Salt Lake City, UT, 2001.
- Fotopoulos G. *Parameterization of DGPS Carrier Phase Errors Over a Regional Network of Reference Stations*, (M.Sc. thesis), UCGE Report No. 20142, August 2000.
- Grejner-Brzezinska Dorota A., Kashani I., Wielgosz P., *On accuracy and reliability of instantaneous network RTK as a function of network geometry, station separation, and data processing strategy*, GPS Solutions (2005) 9:212-225 DOI 10.1007/s10291-005-0130-1.
- Hugentobler, U., Dach, R., Fridez, P., Meindl, M., *Bernese GPS Software 5.0, Draft*. Astronomical Institute, University of Berne, 2005.
- IREALP, Politecnico di Milano – Polo Regionale di Como, *Disciplinare tecnico del Capitolato Speciale d'Appalto Realizzazione di una rete regionale di stazioni permanenti GPS coordinate da un centro di controllo per l'erogazione all'utenza di servizi di posizionamento e navigazione*, IREALP, 2004.
- Landau H., Vollath U., Chen X., *Virtual Reference Station Systems*, Journal of Global Positioning Systems Vol. 1, No. 2: 137-143, 2002.
- Leica Geosystems, *Networked Reference stations: take it to the MAX!*, Leica Geosystems White paper, June 2005.
- Manzano A. M., *Stazioni permanenti GNSS in Italia: scopi, usi e prospettive*, Relazione Invitata ASITA in Atti della 6a Conferenza Nazionale ASITA, Perugia, 2002.

- Radio Technical Commission for Maritime Services, *RTCM recommended standards for differential GNSS service, Version 2.3*, RTCM paper 136-2001, August 20, 2001.
- Radio Technical Commission for Maritime Services, *RTCM recommended standards for differential GNSS service, Version 3.0*, RTCM paper, 30-2004, February 10, 2004.
- Ray J., Dong D., Altamimi Z., *IGS Reference Frame: Status and Future Improvements*, Proceedings of IGS: Celebrating a decade of the International GPS Service, Berne, March 1-5, 2004, AIUB, Berne, 2004.
- Reina G., Crespi M., *Reti di stazioni permanenti GNSS a supporto dell'aggiornamento di un DB cartografico: il caso della cartografia catastale*, Atti della 9a Conferenza ASITA, Catania, 2005.
- Sansò F., De Lacy C., *Uno studio sulle diverse applicazioni del GPS e sul futuro sviluppo della rete di stazioni permanenti GPS sul territorio italiano orientato alla creazione di un servizio geodetico nazionale*, International Geoid Service-Agenzia Spaziale Italiana, 2001.
- Schöffel M., Schneider A., *Can NTRIP replace GMS communication in RTK surveying*, paper presented at GPSNet User Conference, Munich, July 2004.
- Vollath U., A. Buecherl, H. Landau, C. Pagels, B. Wagner, *Multi-Base RTK Positioning Using Virtual Reference Stations*. Paper presented at ION GPS 2000, Salt Lake City, 2000.
- Wübbena G., *On the modelling of GNSS observations for high-precision position determination*, Translation of Wübbena, G., Zur Modellierung von GNSS-Beobachtungen für die hochgenaue Positionsbestimmung. Wissenschaftliche Arbeiten Fachrichtung Vermessungswesen an der Universität, Hannover, Festschrift Prof. G. Seeber zum 60. Geburtstag, Nr. 239, Hannover, <http://www.geopp.de/download/>, 2001.
- Wübbena G., Bagge A., *RTCM Message Type 59-FKP for transmission of FKP Version 1.0*, Geo++® White Paper Nr. 2002.01, <http://www.geopp.de/download/>, 2002.
- Wübbena G., Bagge A., Schmitz M., *Network-Based Techniques for RTK Applications*, Presented at the GPS Symposium, GPS JIN 2001, GPS Society, Japan Institute of Navigation, November 14.-16., 2001, Tokyo, Japan, <http://www.geopp.de/download/>, 2001.
- Xiaoming C., Herbert L., Vollath U., *New Tools for Network RTK Integrity Monitoring*, ION GNSS, 2003.

