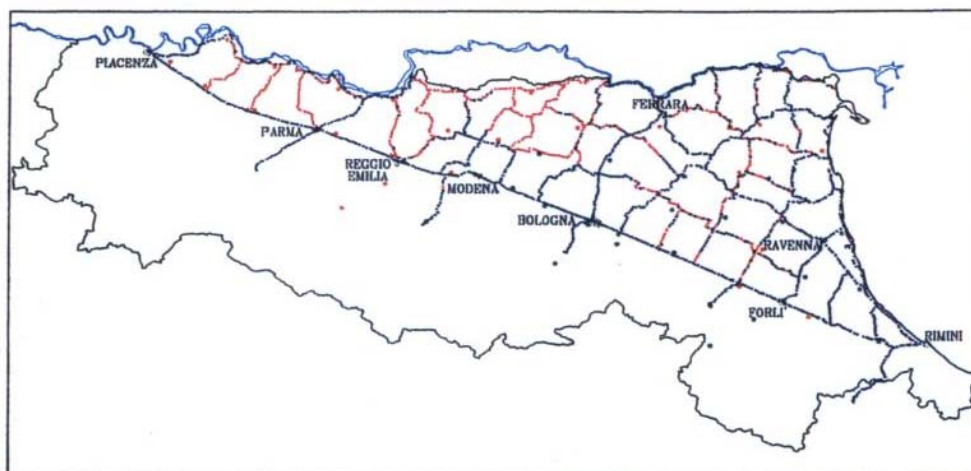


PROGETTO DI ISTITUZIONE DI UNA RETE REGIONALE PER
IL CONTROLLO DELLA SUBSIDENZA



RELAZIONE FINALE

Il progetto è stato realizzato dalla Struttura Tematica di Ingegneria Ambientale di ARPA in collaborazione con il DISTART dell'Università di Bologna.

Hanno collaborato:

Dott. Flavio Bonsignore ARPA - Responsabile di progetto

Prof. Ing. Marco Unguendoli DISTART

Prof. Ing. Gabriele Bitelli DISTART

Elaborazione del materiale cartografico: Dott.ssa Monica Carati - ARPA

Grafici: Leda Ferrari, Ivano Tomba - ARPA

Supporto di segreteria: Elisabetta Montanari - ARPA

Hanno collaborato inoltre:

Dott. Alessandro Travagli - libero professionista

gli studi professionali STAF (Parma) e Geom. Michele Grassi (Codigoro)

Fonderie SABIEM S.p.A. (Bologna)

Fotografie di Flavio Bonsignore

INDICE

1. OBIETTIVI	1
2. RACCOLTA E SELEZIONE DEI DATI	1
2.1 PREMESSA	1
2.2 CARATTERISTICHE DELLE RETI DI LIVELLAZIONE SELEZIONATE	2
2.2.1 I.G.M.I. - Istituto Geografico Militare Italiano	2
2.2.2 Direzione Generale del Catasto e dei Servizi Tecnici Erariali	3
2.2.3 Magistrato per il Po	3
2.2.4 Autorità di Bacino del F. Reno	4
2.2.5 AGIP	4
2.2.6 Comune di Ravenna	4
2.2.7 Comune di Bologna	5
2.2.8 Comune di Modena	5
2.2.9 Comune di Carpi	6
2.2.10 Comune di Correggio	6
2.2.11 Provincia di Ferrara	6
2.2.12 Idroser	7
2.3 CARATTERISTICHE DELLE RETI GPS ESISTENTI	8
2.3.1 I.G.M.I. - Istituto Geografico Militare Italiano.	8
2.3.2 Regione Emilia-Romagna - Servizio Cartografico	8
2.3.3 Autorità di Bacino del F. Reno	8
2.3.4 AGIP	8
2.3.5 Comune di Ravenna	9
2.3.6 Comune di Bologna	9
2.3.7 Comune di Modena	9
3. PROGETTO DELLA RETE	10
3.1 PREMESSA	10
3.2 LA RETE DI LIVELLAZIONE	10
3.2.1 Attività di progettazione	10
3.2.1.1 Progettazione di massima	10
3.2.1.2 Sopralluoghi	10
3.2.1.3 Progetto finale	12
3.2.2 Geometria della rete	12
3.2.3 Ubicazione dei capisaldi di riferimento	18
3.3 LA RETE GPS	18
4. IL SISTEMA DI GESTIONE DELLE SCHEDE MONOGRAFICHE	21
5. ANALISI DEI COSTI	22
6. CONCLUSIONI	24

ALLEGATI:

1. Scheda utilizzata per i sopralluoghi	26
2. Schermate esemplificative di alcune funzioni del sistema informativo	28
3. Esempio di scheda monografica	31
4. Specifiche tecniche per l'esecuzione della livellazione di alta precisione	33
5. Specifiche tecniche per l'esecuzione di una rete GPS di alta precisione	40

1. OBIETTIVI

E' noto come, a partire dagli anni cinquanta, diversi enti abbiano istituito e misurato reti di monitoraggio della subsidenza, in ambiti territoriali più o meno limitati, laddove il fenomeno si era manifestato con maggiore evidenza. Tali iniziative, tuttavia, osservate in un contesto regionale, mettono in luce sovrapposizioni, disomogeneità e lacune evidenziate anche dal recente lavoro di sistematizzazione dei dati ambientali relativi al sistema suolo-acque sotterranee.

Il progetto di una rete nasce quindi dall'esigenza, più volte emersa in ambito pianificatorio, di dotarsi di uno strumento di controllo del fenomeno della subsidenza tale da garantire una copertura informativa omogenea sull'intero territorio di pianura della regione Emilia-Romagna.

Se l'omogeneità spaziale è dunque l'obiettivo principale del progetto, non meno importante è l'esigenza di istituire una rete altimetrica che costituisca una sicura base di riferimento sia in previsione di successivi interventi di approfondimento dell'indagine, sia al fine di collegare ed omogeneizzare le reti e i rilievi già presenti sul territorio regionale.

Il progetto, inoltre, recependo gli orientamenti più aggiornati nell'ambito del rilevamento, è il risultato dell'interazione tra la metodologia classica - linee di livellazione geometrica - e il sistema di rilevamento satellitare (Global Positioning System). I due sistemi assolvono a compiti diversi essendo diversi i loro gradi di precisione e la distribuzione dei rispettivi punti di misura. La maggiore economicità e celerità del secondo sistema, ad esempio, lo rendono preferibile qualora si vogliano ottenere informazioni di massima, su un numero ridotto di punti distribuiti a larghe maglie, ma con campagne di misura ravvicinate nel tempo. Sono state pertanto progettate due reti distinte, dal punto di vista della scelta dei siti e della materializzazione dei punti, in considerazione delle diverse esigenze in sede di esecuzione delle misure.

2. RACCOLTA E SELEZIONE DEI DATI

2.1 PREMESSA

Il progetto non prevede l'istituzione di una rete *ex novo*, bensì l'utilizzo ottimale del cospicuo patrimonio di capisaldi esistenti integrato, previa accurata selezione, in una rete che, da una parte colmi le lacune laddove non esiste una sufficiente copertura territoriale e, dall'altra, comprenda linee e capisaldi funzionali ad un livello d'indagine a scala regionale.

A tal fine è stata operata una raccolta selettiva di informazioni utili a definire un quadro dell'esistente. Le fonti utilizzate sono state quasi sempre gli enti istitutori stessi tranne qualche caso in cui la selezione è avvenuta attraverso sintesi e studi già pubblicati. In particolare la raccolta ha

riguardato il reperimento di monografie di capisaldi di livellazione e di punti GPS e relativa cartografia al fine di elaborare una sintesi dell'esistente indispensabile per la successiva fase di definizione delle linee di progetto.

2.2 CARATTERISTICHE DELLE RETI DI LIVELLAZIONE SELEZIONATE

Il materiale raccolto è stato, in prima analisi, selezionato sulla base dei seguenti requisiti:

1. reti progettate *ad hoc* per lo studio della subsidenza;
2. reti costituite completamente, o in massima parte, da capisaldi idonei ad essere oggetto di misure di alta precisione.

Di seguito vengono riportate, sinteticamente, le caratteristiche delle reti, o delle linee di livellazione, che hanno soddisfatto le precedenti condizioni. I dati sono stati aggregati facendo riferimento ai principali enti istitutori e/o misuratori oppure per ambito territoriale.

2.2.1 I.G.M.I. - Istituto Geografico Militare Italiano

La "Nuova rete altimetrica fondamentale" ricopre l'intero territorio nazionale e interessa la regione Emilia Romagna per un totale di circa 800 Km di percorsi.

E' stata istituita e misurata per la prima volta tra la fine degli anni '40 e la prima metà degli anni '50 - le date dei rilievi sono diverse a seconda delle 16 linee che insistono sul territorio regionale. Ad oggi la gran parte delle linee sono state rilevate dal I.G.M.I. tre volte, in alcuni casi solo due; la cadenza dei rilievi non è regolare: mediamente le misure sono ripetute ogni 20 anni, ma per alcune linee, il periodo può essere anche di 30 o di 40 anni. Per una descrizione più dettagliata vedi Tab.1.

I capisaldi I.G.M.I. sono materializzati utilizzando per i contrassegni orizzontali:

- chiusini interrati in ghisa o in mattoni con 1, 2 o 3 riferimenti (A, B, C);
- capisaldi toroidali tipo pomello, da ancorare a parete;
- disco metallico impiombato o altro riferimento a borchia affiorante;
- cerchio inciso.

Per i contrassegni verticali:

- targhetta metallica a mensola con semisfera;
- targhetta metallica con linea di fede incisa.

2.2.2 Direzione Generale del Catasto e dei Servizi Tecnici Erariali

Negli anni '70 il "Catasto" ha effettuato livellazioni di alta precisione percorrendo quasi sempre linee già istituite da I.G.M.I. e integrandole opportunamente con propri capisaldi laddove i contrassegni risultavano scomparsi (vedi Tab.1). In alcuni casi sono state istituite anche linee *ex novo*: Reggio Emilia-Gualtieri, Faenza-Ravenna, Ponte Verucchio-Santarcangelo, Savignano sul Rubicone-Gatteo a Mare. Il Catasto utilizza capisaldi orizzontali a borchia affiorante e capisaldi verticali a targhetta con linea di fede incisa.

TAB. 1 - RIEPILOGO DELLE LINEE I.G.M.I.

LINEA	ESTREMI DI LINEA IGM	TRATTO DI LINEA ALL'INTERNO DELLA REGIONE	KM	DATE RILIEVI
2	TORTONA-PIACENZA	DA PIACENZA A CONF. REG. - 2/63 (CASTEL S.GIOVANNI)	19	55,82
3	PIACENZA-CREMONA	DA PIACENZA A 3/26 (CAORSO)	28	52,84
50	PIACENZA-LECCO	DA PIACENZA AL CONF. REG.	1	52,72(C),82
20	PARMA-PIACENZA	COMPLETA	62	(50-59),82
33	SARZANA-PARMA	DA PARMA AL CONF. REG.	60	52,80,82
40	PARMA-MANTOVA	DA PARMA A CONF. REG. - 40/46 (SUZZARA)	46	53,85
17	BOLOGNA-PARMA	COMPLETA	100	49,73,74(C),80
5	FIRENZE-BOLOGNA	DA BOLOGNA AL CONF. REG.	63	43-49,74(C),90
6	BOLOGNA-FERRARA	COMPLETA	54	43,73,90
7	FERRARA-MONSELICE	DA FERRARA AL CONF. REG. - 7/8' (PONTELAGOSCURO)	8	42-47,70,86
15	RIMINI-BOLOGNA	COMPLETA	115	50,70-72,76(C),90
18	PORTOMAGGIORE-FERRARA	COMPLETA	30	50,70,90
19	PORTOMAGGIORE-VENEZIA	DA PORTOMAGGIORE AL CONF. REG.-19/49(ARIANOFERRARESE)	50	50,57,59,70,77(C),88
16	RIMINI-PORTOMAGGIORE	COMPLETA (con deviazione Ravenna - Porto Corsini)	117	50,70,77(C),90
13	FIUMESINO-RIMINI	DA RIMINI AL CONF. REG. - 13/62 (GABICCE)	26	50,92
14	AREZZO-RIMINI	DA RIMINI AL CONF. REG.	19	50,77(C),90
TOTALE			798	

(C)=CATASTO

2.2.3 Magistrato per il Po

Il Magistrato per il Po di Parma ha istituito già alla fine degli anni '20 linee di livellazione lungo l'asta del F. Po. Dagli anni '50 in poi sono stati eseguiti rilievi che hanno interessato sia il F. Po che alcuni suoi affluenti secondo le seguenti date: F.Po (1955, 1976), F. Trebbia (1974, 1992), T. Stirone (1974), F. Taro (1973), T. Baganza (1969), T. Enza (1973), F. Secchia (1969, 1992) e F. Panaro (1962, 1982, 1992). Le linee comprendono, ove possibile, capisaldi I.G.M.I. e presentano

una tipologia di contrassegni alquanto variegata, non sempre, però, tali contrassegni risultano idonei ad essere oggetto di misure di alta precisione (cerchi incisi).

Nel 1996 il Magistrato per il Po di Ferrara ha risegnalizzato completamente il tratto di linea, in destra del F. Po, che va da Stellata a Gorino, abbandonando la linea precedente e utilizzando esclusivamente capisaldi a borchia montati su pali infissi sulla sommità arginale. La linea non è ancora stata rilevata.

2.2.4 Autorità di Bacino del F. Reno

L'Autorità di Bacino del F. Reno gestisce, attualmente, le linee di livellazione istituite dall'Ufficio Speciale del Genio Civile per il Reno nei primi anni '50 e misurate dallo stesso, una prima volta, all'atto dell'istituzione e, una seconda volta, nei primi anni '70. Le linee seguono le aste del F.Reno, T. Samoggia, T. Lavino, T. Ghironda, T. Idice, T. Quaderna, T. Sillaro, T. Senio. L'Autorità di Bacino ha eseguito il terzo rilievo della rete negli anni 1995-97 comprendendo anche la linea I.G.M.I. lungo la via Emilia per il tratto ricadente nel territorio di competenza. La rete è costituita da un'ampia tipologia di capisaldi essendo presenti, oltre ai contrassegni I.G.M.I., anche i segnali istituiti da altri enti: borchie, dischi metallici, pomelli e piastrine.

2.2.5 AGIP

A partire dai primi anni '70 AGIP ha istituito e misurato una rete, finalizzata al controllo dei movimenti verticali del suolo, che interessa integralmente le province di Rimini, Ravenna, Ferrara e Bologna e parzialmente le province di Modena e Reggio Emilia, per un totale approssimativo di 2000 Km di percorsi. La rete utilizza in larga misura linee istituite precedentemente da altri enti tra cui I.G.M.I. e consorzi di bonifica. I rilievi non vengono ripetuti con la stessa cadenza su tutte le linee, per cui si osservano linee non più misurate dagli anni '70 e linee controllate con frequenza quasi annuale (fascia litoranea).

Sulle linee materializzate *ex novo*, e per i ripristini, vengono utilizzati capisaldi orizzontali a disco metallico affiorante e capisaldi verticali a targhetta con linea di fede incisa.

2.2.6 Comune di Ravenna

Il Comune di Ravenna è stata la prima amministrazione comunale ad istituire e misurare una rete di capisaldi mirata al controllo del fenomeno della subsidenza. Tale rete, istituita nel 1977, ha uno

sviluppo complessivo di 640 Km di linee di livellazione ed interessa, oltre al comune di Ravenna, i comuni di Alfonsine, Russi, Faenza, Forlì, Castrocaro, Forlimpopoli, Cesena e Cervia.

La rete è stata progettata operando una sintesi del vasto patrimonio di capisaldi già esistenti su gran parte della pianura ravennate ed istituiti in epoche diverse da consorzi di bonifica e I.G.M.I. I capisaldi selezionati sono quindi stati integrati nelle linee di progetto procedendo alla materializzazione di nuovi contrassegni laddove la copertura spaziale risultava carente.

Il rilievo della rete è stato eseguito negli anni 1977, 1982, 1986 e 1992.

Per le materializzazioni *ex novo* sono stati utilizzati capisaldi orizzontali del tipo a pomello e capisaldi verticali a targhetta con linea di fede incisa.

2.2.7 Comune di Bologna

Il comune di Bologna ha istituito nel 1983 una rete di capisaldi che insiste su una superficie di circa 460 Km² all'interno della provincia di Bologna. La rete, progettata allo scopo di controllare il fenomeno della subsidenza, contava fino al 1991 poco più di 500 punti di misura - incluse le linee di collegamento ai capisaldi di riferimento - dislocati secondo un criterio di concentrazione decrescente allontanandosi dal centro cittadino. Nel 1991 è stato operato un raffittimento all'interno del centro storico con l'istituzione di 520 nuovi contrassegni. Il rilievo della rete di primo impianto è stato eseguito negli anni 1983, 1986 e 1992; in quest'ultimo anno si è proceduto anche alla prima misura della rete di raffittimento rimisurata successivamente nel 1993.

I capisaldi della rete sono tutti materializzati *ex novo*. Nel corso del primo e del secondo rilievo sono stati misurati anche 170 capisaldi preesistenti al fine di poter operare immediatamente un confronto con le misure precedentemente effettuate da altri enti. Fra questi sono da annoverare I.G.M.I., Catasto, AGIP e Consorzio della Bonifica Renana. In particolare, quest'ultimo ha istituito e misurato nel 1970 una rete costituita da 1017 capisaldi uniformemente distribuiti nel territorio di propria competenza circoscritto, ad Ovest e a Nord, dal corso del fiume Reno, ad Est dal torrente Sillaro e a Sud dall'allineamento passante dai centri abitati di Castelmaggiore, Granarolo, Budrio, Medicina e Sesto Imolese.

I contrassegni utilizzati nella rete del comune di Bologna sono unicamente di tipo orizzontale a pomello.

2.2.8 Comune di Modena

Il comune di Modena ha istituito nel 1981 una rete di capisaldi che insiste su una superficie di circa 350 Km² all'interno della provincia di Modena, con uno sviluppo di 182 Km di linee di livellazione.

La rete è stata progettata allo scopo di controllare il fenomeno della subsidenza ed è stata misurata nel 1981, nel 1985 e, parzialmente, nel 1992.

I capisaldi della rete sono tutti materializzati *ex novo* e sono unicamente di tipo orizzontale a pomello.

2.2.9 Comune di Carpi

Il comune di Carpi ha istituito nel 1992 una rete di capisaldi finalizzata al controllo della subsidenza e collegata alla rete già istituita dal comune di Modena Tale collegamento consente di attribuire una quota assoluta attraverso il collegamento all'Appennino Modenese.

La rete conta circa 80 capisaldi distribuiti sul territorio comunale in poligoni contigui seguendo la viabilità esistente. La misura è stata eseguita una sola volta nel 1992. I capisaldi sono tutti materializzati *ex novo* e sono unicamente di tipo orizzontale a pomello.

2.2.10 Comune di Correggio

Il comune di Correggio ha istituito nel 1981 una rete di livellazione finalizzata al controllo dei movimenti verticali del suolo in una fascia di territorio ricadente nella zona Est del centro urbano. La rete, in particolare, è nata dall'esigenza di monitorare i movimenti in corrispondenza di una frattura profonda del terreno all'origine di lesioni a fabbricati e ad altri manufatti. I circa cinquanta capisaldi che costituiscono la rete sono stati misurati nel 1981, 1982, 1984 e 1986 assumendo convenzionalmente come punto di quota invariata nel tempo un caposaldo interno alla rete soggetto anch'esso al fenomeno di subsidenza; tale scelta, difatti, non pregiudica l'osservazione dei movimenti relativi, scopo principale della rete.

I capisaldi sono tutti materializzati *ex novo* e sono sia di tipo orizzontale a pomello sia del tipo orizzontale su palo la cui sommità rimane sotto il piano di campagna ed è protetta da apposito chiusino.

2.2.11 Provincia di Ferrara

Il territorio della provincia di Ferrara è stato oggetto di numerosissime campagne di livellazione già a partire dalla fine del secolo scorso (I.G.M.I.). La gran parte dei rilievi, tuttavia, si concentrano nel trentennio che intercorre dagli inizi degli anni '50 sino alla fine degli anni '70. In tale periodo enti diversi materializzano, ciascuno per proprio conto e con diverse finalità, svariate linee di livellazione che, viste oggi nella loro globalità, costituiscono una rete di capisaldi la cui istituzione

e misura è, però, variamente articolata nel tempo così come la copertura spaziale, tutt'altro che omogenea, sembra piuttosto scaturire da esigenze specifiche legate ad ambiti territoriali più o meno estesi. Sono stati materializzati capisaldi di diverse fogge ma riconducibili, sostanzialmente, alle consuete tipologie: chiusino in ghisa, pozzetto in mattoni, pomello (a parete), borchia o disco metallico affiorante come contrassegni orizzontali e targhetta metallica come contrassegno verticale.

Va ricordato che, nonostante il copiosissimo materiale esistente, è possibile verificare l'andamento degli abbassamenti solo per zone e in intervalli di tempo spesso diversi da una zona all'altra e, in ogni caso, ricorrendo ad operazioni di omogeneizzazione delle misure.

2.2.12 Idroser

Nel 1983 Idroser ha istituito, per conto della Regione Emilia Romagna, una rete di capisaldi finalizzata al controllo dei movimenti verticali del suolo lungo l'arco costiero regionale.

In seguito sono state eseguite tre campagne di livellazione: 1984, 1987, 1993. In occasione dell'ultima campagna la rete è stata oggetto di modificazioni rispetto alla geometria precedente. In particolare, è stato eliminato il lungo collegamento tra Volano e l'Appennino Bolognese e sono stati istituiti cinque poligoni, a ridosso della fascia costiera, allo scopo di ridurre le probabilità di propagazione degli errori e, nel contempo, ampliare l'osservazione da una fascia ristretta prospiciente la costa, ad un'area che si estende più in profondità verso l'interno. La rete, così costituita, ha uno sviluppo di circa 450 Km e conta circa 560 capisaldi, in parte già esistenti - istituiti da I.G.M.I., ERSAs, comune di Ravenna, consorzi di bonifica - e in parte materializzati *ex novo* utilizzando contrassegni orizzontali del tipo a pomello e contrassegni verticali del tipo a targhetta con linea di fede incisa.

2.3 CARATTERISTICHE DELLE RETI GPS ESISTENTI

2.3.1 I.G.M.I. - Istituto Geografico Militare Italiano.

Nel 1992 L'istituto Geografico Militare iniziava i lavori relativi al "Progetto IGM95" che prevedeva l'istituzione e la determinazione di una rete geodetica nazionale di punti GPS. La rete è già stata materializzata e misurata ma i dati non sono ancora disponibili. La regione Emilia-Romagna è interessata da circa 70 punti distribuiti abbastanza uniformemente e spesso coincidenti con vertici trigonometrici preesistenti. Tale coincidenza rende difficoltoso, se non impossibile in taluni casi, il collegamento a capisaldi di livellazione tramite livellazione geometrica.

2.3.2 Regione Emilia-Romagna - Servizio Cartografico

Il servizio Cartografico della Regione Emilia-Romagna, in collaborazione con il Laboratorio di Topografia del DISTART dell'Università di Bologna, ha istituito nel 1995 una rete di 30 punti fissi uniformemente distribuiti nella provincia di Bologna e derivanti dal raffittimento della rete geodetica GPS nazionale (I.G.M.I.). La rete è finalizzata all'inquadrimento planimetrico dell'area ed è stata rilevata nel 1996.

2.3.3 Autorità di Bacino del F. Reno

L'Autorità di bacino del F. Reno, in collaborazione con il Laboratorio di Topografia del DISTART dell'Università di Bologna, ha istituito una rete di 37 punti. Di questi, 17 sono stati materializzati come vertici d'inquadrimento con appositi capisaldi da rilevarsi in modalità statica, mentre altri 20 punti - vertici di dettaglio - non sono stati materializzati *ad hoc* e sono da rilevarsi in modalità statico-rapida. La rete è finalizzata al controllo della subsidenza ed è stata rilevata nel 1995.

2.3.4 AGIP

L'AGIP, in collaborazione con il Laboratorio di Topografia del DISTART dell'Università di Bologna, ha istituito nel 1993 una rete di circa 12 punti fissi ubicati in prevalenza lungo il tratto di costa compreso tra Cervia e Portogaribaldi. La rete è collegata alle reti istituite dal comune di

Bologna e dal comune di Ravenna ed è finalizzata sia al controllo della subsidenza sia all'appoggio delle misure GPS eseguite sulle piattaforme per l'estrazione di gas al largo della costa Emiliano-Romagnola. Sono state eseguite due misure: 1993 e 1996.

2.3.5 Comune di Ravenna

Il comune di Ravenna, in collaborazione con il Laboratorio di Topografia del DISTART dell'università di Bologna, ha istituito nel 1992 una rete di 5 punti fissi, di cui tre lungo il litorale e due all'interno, collegata a punti ubicati in zone ritenute stabili (Sasso Marconi, Castel dei Britti, Castrocaro e Brisighella). La rete è finalizzata al controllo della subsidenza ed è stata rilevata nel 1992.

2.3.6 Comune di Bologna

Il comune di Bologna, in collaborazione con il Laboratorio di Topografia del DISTART dell'Università di Bologna, ha istituito nel 1994 una rete di circa 35 punti GPS, di cui alcuni già materializzati nel 1991 dall'Istituto di Topografia a fini sperimentali. I punti sono distribuiti ad una distanza media di circa 3 Km e sono collegati a zone ritenute stabili (Sasso Marconi, Castel dei Britti e Torre della Facoltà di Ingegneria). La rete è finalizzata all'inquadrimento planimetrico ed è stata misurata nel 1994.

2.3.7 Comune di Modena

Il comune di Modena, in collaborazione con l'osservatorio Geofisico dell'università di Modena, ha istituito nel 1996, una rete di 9 punti GPS. Otto di questi sono ubicati, all'incirca, lungo il perimetro del centro cittadino e uno si trova in prossimità del caposaldo di riferimento della rete di livellazione del Comune stesso, nei pressi della località Pescale. La rete è finalizzata al controllo della subsidenza.

3. PROGETTO DELLA RETE

3.1 PREMESSA

Il progetto della rete è stato elaborato in collaborazione con il Laboratorio di Topografia del DISTART dell'Università di Bologna. Tale progetto si pone come obiettivo il controllo dei movimenti verticali del suolo, relativamente al territorio di pianura della regione, attraverso l'interazione di due metodologie di rilevamento: una metodologia classica quale la livellazione geometrica di alta precisione che opera su una rete di capisaldi di livellazione e una metodologia più aggiornata quale il sistema di rilevamento satellitare GPS che prevede comunque l'istituzione di una rete di punti materializzati permanentemente.

Entrambe le reti sono state progettate a partire dal vasto patrimonio di capisaldi esistenti in un'ottica di ottimizzazione e valorizzazione delle precedenti esperienze che vengono ora selezionate ed integrate in funzione di un progetto a scala regionale.

Tale scelta, rispetto all'opzione di una rete istituita completamente *ex novo*, permetterà, in primo luogo, un proficuo interscambio di informazioni tra la rete regionale e le reti locali ad essa collegate; in secondo luogo, eviterà sia di accrescere ulteriormente la già alta densità di capisaldi presenti in talune zone sia di sovrapporsi alle linee fondamentali I.G.M.I.

3.2 LA RETE DI LIVELLAZIONE

3.2.1 Attività di progettazione

3.2.1.1 Progettazione di massima

La progettazione di massima ha comportato l'esame critico di tutte le reti e le linee di livellazione selezionate ai fini del progetto ed infine l'individuazione dei percorsi ottimali perseguendo, da una parte, un criterio di distribuzione uniforme delle linee e, dall'altra, una discretizzazione a scala regionale ovvero un raffittimento della rete fondamentale I.G.M.I. ed uno sfoltimento delle linee appartenenti alle reti locali.

3.2.1.2 Sopralluoghi

La ricognizione delle linee di progetto ha permesso di verificare lo stato di conservazione e l'idoneità dei capisaldi esistenti e la possibilità di materializzare i nuovi capisaldi sulle linee di

nuova istituzione. Durante i sopralluoghi per ogni caposaldo è stata compilata una scheda monografica completa di schizzo e fotografia; ogni fotografia è stata convertita in un file immagine in modo da poter essere caricata all'interno del sistema di gestione automatizzato delle monografie. I sopralluoghi hanno messo in evidenza anche i contrassegni secondari, ovvero gli eventuali capisaldi materializzati nelle immediate vicinanze del caposaldo principale, al fine di evitare possibili ambiguità in sede di istituzione della rete. Ogni caposaldo è stato ubicato su cartografia in scala 1:50.000. In particolare la ricognizione è stata effettuata, oltre che sulle linee di nuova istituzione, sulle linee istituite da: Provincia di Ferrara - ERSA, Catasto, AGIP, Magistrato per il Po di Parma. Tale scelta è stata compiuta in seguito a due considerazioni: da una parte, molte di queste linee non presentano rilievi recenti ed è quindi presumibile che si sia verificata la scomparsa o il danneggiamento di un maggior numero di capisaldi rispetto a linee misurate più recentemente; dall'altra, un esame delle monografie relative a tali linee ha messo in luce la scarsa idoneità di un certo numero di capisaldi ad essere oggetto di misure di alta precisione come quelle che si richiedono ai fini del controllo della subsidenza. Nei casi di ripristini o di capisaldi appartenenti a linee di nuova istituzione, si è resa necessaria la scelta di nuovi siti sui quali ancorare i capisaldi; tale scelta è stata guidata dai seguenti criteri elencati in ordine di priorità:

1. edifici pubblici quali chiese, municipi, scuole ecc., purché dessero sufficienti garanzie di stabilità e non fossero di recentissima costruzione;
2. manufatti presenti lungo le strade quali, ad esempio, spallette di ponti o di ponticelli d'accesso alle proprietà, opere idrauliche che dessero garanzie di stabilità e durata nel tempo, muri di sostegno, recinzioni in muratura, tabernacoli;
3. edifici privati.

La maggior parte dei capisaldi risultano ancorati a manufatti del tipo descritto al punto 2): tale scelta privilegia la facilità d'accesso rispetto a capisaldi ancorati all'interno di proprietà.

3.2.1.3 *Progetto finale*

L'elaborazione del progetto definitivo si è svolta accogliendo le indicazioni derivanti dai sopralluoghi e, quindi, modificando i percorsi laddove si rendeva necessario, inoltre, si è deciso di abbandonare le linee I.G.M.I. laddove queste si sovrappongono alle linee istituite *ex novo* dal comune di Bologna e dal comune di Modena, assumendo in questi casi i capisaldi materializzati da tali enti. La scelta è stata compiuta pensando alla maggiore frequenza di misure operate dai Comuni rispetto a I.G.M.I., ciò si traduce non solo in una maggior ricchezza delle serie storiche, ma anche in maggiori garanzie dal punto di vista della conservazione dei segnali. Altro motivo è la coincidenza dei capisaldi di riferimento tra dette reti comunali e la rete regionale (cfr. 3.2.3): che agevolerà lo scambio di dati non dovendo operare omogeneizzazioni.

In questa fase si è proceduto anche a valutare con precisione la consistenza della rete in termini di lunghezza delle linee e numero dei capisaldi esistenti e da istituire. Per ogni caposaldo sono state individuate le coordinate nel sistema U.T.M. (fuso 32) attraverso l'acquisizione delle stesse dagli enti istitutori o tramite digitalizzazione su cartografia in scala 1:50.000.

3.2.2 **Geometria della rete**

La rete è costituita da poligoni contigui i cui lati, denominati linee, hanno come estremi due capisaldi nodali. Un caposaldo viene detto nodale quando da esso si dipartono tre o più linee. Ogni linea è costituita da n capisaldi che possono essere esistenti, in quanto appartenenti a reti già istituite, o da materializzare. Sulla base dei sopralluoghi compiuti sono stati ubicati capisaldi posti fra loro ad una distanza variabile tra circa 0.8 e 1.2 Km. La rete si sviluppa lungo la viabilità esistente su circa 2000 Km di linee ed è materializzata da oltre 2000 capisaldi, i tre quarti dei quali istituiti da Enti diversi (cfr. 2.2), mentre il restante quarto è di nuova istituzione e da materializzare e da misurare secondo le modalità contenute nelle specifiche tecniche in allegato. Un riepilogo dettagliato delle linee e dei capisaldi nodali è contenuto, rispettivamente, nella Tab.2. e nella Tab.3. La rete presenta un perimetro di forma assimilabile ad un triangolo (fig.3.2.2-1) i cui lati sono costituiti, a Sud, dalla via Emilia da Piacenza a Rimini, a Nord, dalla viabilità più prossima al confine regionale da Piacenza a Goro e, a Est, dalla viabilità lungo la costa da Goro a Rimini. All'interno di tale triangolo, il cui perimetro di 633 Km racchiude una superficie di 8609 Km², si sono ottenuti 44 poligoni aventi una superficie media di 195 Km² e costituiti da 115 linee. Altre 5 linee collegano la rete ad altrettanti capisaldi ubicati sull'Appennino in zone ritenute stabili e comunque non soggette al fenomeno della subsidenza interessante la Pianura Padana.

TAB. 2 - RIEPILOGO LINEE

LINEA	DAL NOD.	AL NOD.	N°CS	CS esis.	CS nuovi	Km	ISTITUZIONE
1	001010	000050	31	31		26	IGMI
2	000010	000020	63	55	8	63	IGMI- MAGISTRATO
3	000010	000020	17		17	19	NUOVA
4	000020	000040	16	8	8	14	MAGISTRATO
5	000030	000040	21		21	22	NUOVA
6	000010	000030	14	14		16	IGMI
7	000040	000060	10	2	8	12	MAGISTRATO
8	000050	000060	24		24	26	NUOVA
9	000030	000050	22	22		24	IGMI
10	010010	000120	22	20	2	18	COM. DI MO
11	000060	000070	34	11	23	27	MAGISTRATO
12	000050	000070	19	19		20	IGMI
13	000070	000090	10	10		11	IGMI
14	000080	000090	23	3	20	24	CATASTO
15	000050	000080	28	28		27	IGMI
16	000090	000110	17	10	7	18	IGMI - NUOVA
17	000100	000110	21		21	23	NUOVA
18	000080	000100	13	4	9	16	AGIP
19	000110	000150	14		14	15	NUOVA
20	000140	000150	16	14	2	15	AGIP-CORREGGIO-CARPI
21	000100	000140	14	10	4	10	AGIP-COM.DI CARPI
22	000140	000130	6	6		5	COM.CARPI
23	000120	000130	22	22		24	COM.DI MO
24	000080	000120	15	15		16	IGMI
25	025010	000280	25	25		18	COM.DI BO
26	000150	000170	14	5	9	16	NUOVA
27	000160	000170	6		6	8	NUOVA
28	000130	000160	17	5	12	18	COM.DI CARPI-NUOVA
29	000120	000180	20	20		17	COM.DI MO
30	000170	000220	15		15	16	NUOVA
31	000210	000220	9		9	11	NUOVA
32	000200	000210	5		5	6	NUOVA
33	000160	000200	7		7	8	NUOVA
34	000190	000200	14		14	16	NUOVA
35	000130	000190	10	10		12	COM.DI MO
36	000180	000190	12	12		12	COM.DI MO
37	000220	000270	16	1	15	16	NUOVA
38	000260	000270	24	14	10	28	AGIP-C.BURANA-ERSA
39	000210	000260	14	6	8	16	AGIP

40	000250	000260	7	3	4	8	AGIP
41	000190	000250	22		22	25	NUOVA
42	000240	000250	6		6	6	AGIP
43	000230	000240	31	31		23	COM.DI BO
44	000180	000230	12	12		12	IGMI
45	000270	000320	20	20		21	MAGISTR.
46	000310	000320	8	8		6	IGMI
47	000300	000310	15	15		15	IGMI
48	000260	000300	15	7	8	17	AGIP
49	000290	000300	21	21		19	IGMI
50	050010	000510	15	15		12	COM.DI RA
51	000280	000290	21	21		18	COM.DI BO
52	000230	000280	23	23		18	COM.DI BO
53	000240	000290	8	8		6	COM.DI BO
54	000320	000410	21	20	1	22	MAGISTRATO
55	000400	000410	18	13	5	18	ERSA
56	000310	000400	19	6	13	20	ERSA
57	000390	000400	17	8	9	16	ERSA
58	000380	000390	2	2		4	IGMI
59	000370	000380	11	11		13	IGMI
60	000370	000310	28	28		30	IGMI
61	000360	000370	6	6		7	IGMI
62	000350	000360	9	9		12	IDROSER
63	000340	000350	9	9		12	IDROSER
64	000300	000350	21	11	10	24	AGIP
65	000290	000340	24	14	10	24	COM.DI BO-AGIP
66	000340	000430	11	4	7	11	AGIP
67	000280	000330	12	12		10	COM.DI BO
68	000410	000490	14	14		15	MAGISTRATO
69	000480	000490	25	17	8	27	ERSA
70	000390	000480	5	5		5	IGMI
71	000380	000470	1		1	2	AGIP
72	000460	000470	13	3	10	13	AGIP
73	000450	000460	11	6	5	11	AGIP
74	000450	000360	12	12		13	IGMI
75	000440	000450	18	8	10	18	AGIP
76	000330	000340	22	22		23	COM.DI BO-IDROSER
77	000430	000440	16	7	9	15	AGIP
78	000330	000420	13	12	1	13	IGMI
79	000420	000430	15	6	9	16	AGIP
80	000420	000500	11	11		11	IGMI
81	000500	000440	12	7	5	14	AGIP
82	000490	000590	15	10	5	14	MAGISTRATO
83	000580	000590	14	14		16	IGMI

84	000480	000580	13	13		14	IGMI
85	000560	000580	16	13	3	17	AGIP
86	000470	000560	17	6	11	18	AGIP
87	000560	000570	4	2	2	5	AGIP
88	000550	000570	18	18		18	IDROSER
89	000460	000550	17	10	7	18	ERSA
90	000550	000540	9	9		8	IDROSER
91	000530	000540	11	11		12	COM.DI RA
92	000450	000530	16	16		20	IGMI
93	000520	000530	15	8	7	16	AGIP
94	000440	000520	18	12	6	19	AGIP
95	000510	000520	11	5	6	12	AGIP
96	000500	000510	15	15		18	IGMI
97	000650	000660	20	20		19	IDROSER
98	000590	000660	28	20	8	30	ERSA-IDROSER
99	000580	000660	17	17		15	IDROSER
100	100010	000720	29	29		28	IDROSER
101	000570	000650	6	5	1	6	IDROSER
102	000640	000650	18	18		14	IDROSER
103	000540	000640	9	8	1	10	IDROSER
104	000630	000640	13	13		14	IDROSER
105	000620	000630	12	12		13	IGMI
106	000620	000530	16	16		17	IGMI
107	000610	000620	21	21		17	COM.DI RA
108	000520	000610	18	15	3	18	AGIP
109	000600	000610	11	11		11	COM.DI RA
110	000510	000600	14	14		16	IGMI
111	000690	000630	34	34		36	IDROSER
112	000680	000620	12	12		15	IGMI
113	000690	000680	5	5		7	IGMI
114	000670	000680	24	24		22	COM.DI RA
115	000600	000670	18	18		20	IGMI
116	000700	000690	8	8		8	IGMI
117	000710	000700	14	14		14	IDROSER
118	000670	000710	16	16		16	IGMI
119	000720	000700	29	29		29	IGMI
120	000710	000720	9	9		8	IGMI
TOTALE CAPISALDI DI LINEA			1930	1419	511	1962	TOTALE Km
NODALI			72	60	12		
TOTALE GENERALE			2002	1479	523		

TAB. 3 - RIEPILOGO CAPISALDI NODALI

NODALE	ISTITUZIONE
000010	I.G.M.I.
000020	MAGISTRATO
000030	I.G.M.I.
000040	MAGISTRATO
000050	I.G.M.I.
000060	GENIO CIVILE
000070	I.G.M.I.
000080	I.G.M.I.
000090	I.G.M.I.
000100	NUOVO
000110	NUOVO
000120	COM.DI MO
000130	COM.DI MO
000140	COM.DI CARPI
000150	NUOVO.
000160	NUOVO
000170	NUOVO
000180	COM.DI MO
000190	COM.DI MO
000200	NUOVO
000210	NUOVO
000220	NUOVO
000230	COM.DI BO
000240	COM.DI BO
000250	A.G.I.P.
000260	NUOVO
000270	MAGISTRATO
000280	COM.DI BO
000290	COM.DI BO
000300	I.G.M.I.
000310	I.G.M.I.
000320	I.G.M.I.
000330	COM.DI BO
000340	IDROSER
000350	IDROSER
000360	I.G.M.I.

NODALE	ISTITUZIONE
000370	I.G.M.I.
000380	I.G.M.I.
000390	I.G.M.I.
000400	NUOVO
000410	MAGISTRATO
000420	I.G.M.I.
000430	C.BON.RENANA
000440	A.G.I.P.
000450	I.G.M.I.
000460	A.G.I.P.
000470	A.G.I.P.
000480	I.G.M.I.
000490	MAGISTRATO
000500	I.G.M.I.
000510	I.G.M.I.
000520	NUOVO
000530	I.G.M.I.
000540	IDROSER
000550	IDROSER
000560	A.G.I.P.
000570	NUOVO
000580	I.G.M.I.
000590	I.G.M.I.
000600	I.G.M.I.
000610	COM.DI RA
000620	I.G.M.I.
000630	IDROSER
000640	IDROSER
000650	IDROSER
000660	IDROSER
000670	I.G.M.I.
000680	I.G.M.I.
000690	I.G.M.I.
000700	I.G.M.I.
000710	IDROSER
000720	I.G.M.I.

3.2.3 Ubicazione dei capisaldi di riferimento

Sono previsti 5 capisaldi di riferimento, ovvero capisaldi la cui quota, attribuita attraverso la prima misura della rete, sarà assunta invariata in occasione di successive ripetizioni del rilievo. Il numero di tali capisaldi permetterà di ripetere il rilievo, anche solo parziale della rete, appoggiandosi, in ogni caso, ad un punto stabile abbastanza vicino da contenere i costi e la propagazione dell'errore.

Tutti i capisaldi di riferimento sono esistenti e 4 di essi sono già assunti come riferimento stabile da altre reti. Fra questi è presente il caposaldo assunto dal comune di Modena ubicato in località Pescale; il caposaldo assunto dal comune di Bologna ubicato presso Sasso Marconi; il caposaldo assunto dal comune di Ravenna presso Brisighella e un caposaldo appartenente alla linea di riferimento Idroser (Santarcangelo- Pennabilli) ubicato presso l'abitato di Novafeltria e risultato stabile in seguito a più ripetizioni del rilievo di tale linea. Un quinto caposaldo, appartenente alla linea 33 I.G.M.I. (Sarzana-Parma), è stato individuato lungo la valle del Taro in corrispondenza di Fornovo di Taro.

Ogni caposaldo sarà l'estremo di una piccola linea di livellazione, costituita da alcuni capisaldi nelle immediate vicinanze, al fine di verificare, attraverso l'invariabilità dei dislivelli di tale linea, l'effettiva stabilità del caposaldo di riferimento.

In sede di prima misura della rete potrebbe essere assunto come caposaldo origine, ovvero come caposaldo dal quale desumere la quota di partenza attraverso cui attribuire le quote agli altri quattro, il caposaldo di Sasso Marconi denominato dal comune di Bologna SM/2 con quota pari a 226.360 determinata nel 1983 dal comune stesso - e rimasta invariata nei rilievi successivi - a partire dalla quota del caposaldo I.G.M.I. 5/162" (verticale) determinata nel 1949. La scelta del caposaldo origine di Sasso Marconi è motivata, principalmente, dalla sua posizione baricentrica rispetto agli altri capisaldi di riferimento con conseguente minore probabilità di propagazione degli errori in fase di esecuzione delle misure.

3.3 LA RETE GPS

La metodologia satellitare GPS fornisce la quota ellissoidica dei punti legata a quella geoidica dalle cosiddette ondulazioni del geoide. Tale quota di per sé non è quindi utilizzabile, se non nel caso della ricerca di movimenti, a meno che nella zona non siano note, con precisione adeguata, le ondulazioni del geoide. Effettuando una campagna GPS e collegando le sue quote a quelle della livellazione geometrica fatta nello stesso periodo, dalle differenze fra le due quote si ricavano le ondulazioni del geoide in quei punti e per interpolazione l'andamento generale del geoide stesso.

Tale operazione risulta, da una parte, di grande interesse scientifico, in quanto può servire di ausilio e di controllo ad altre metodologie per il calcolo del geoide, dall'altra, di interesse tecnico in quanto permetterà di poter usare il GPS per determinare quote e differenze di quota che, corrette per le ondulazioni del geoide, potranno essere usate a fini tecnici.

Pur non essendo la metodologia GPS ancora pienamente competitiva sul piano della precisione con la livellazione geometrica (almeno per le distanze in gioco nel nostro caso), essa può rappresentare un mezzo veloce ed economico per il controllo di alcuni punti e può permettere di valutare la necessità di una ripetizione della livellazione geometrica, certamente più onerosa, con cadenza diversa da quella preventivata.

Anche la rete GPS è stata progettata a partire dalle reti già esistenti sul territorio regionale. Sono stati individuati 53 punti di cui 21 appartenenti a reti GPS già istituite, 7 coincidenti con capisaldi di livellazione esistenti e 25 da materializzare. Un riepilogo dettagliato dei punti GPS è contenuto nella Tab. 4.

La rete è costituita da 44 punti distribuiti uniformemente nel territorio di pianura della Regione e da 9 punti, divisi in 3 terne, ubicati in zone ritenute stabili sull'Appennino in funzione di punti d'appoggio (fig 2.2-1). L'appoggio di una rete GPS per essere efficace non può essere affidato ad un solo punto, ma almeno ad una terna di punti stabili al fine di tenere conto anche di una eventuale rotazione del sistema di riferimento. Difatti, se si sovrappongono due rilievi successivi, anche effettuati su punti sicuramente stabili, vi sono notevoli differenze, soprattutto in quota, fra le coordinate dei punti ottenute nell'una e nell'altra campagna. Se, però, si opera una rototraslazione spaziale a 7 o 9 parametri, di una campagna sull'altra, si potrà ottenere una perfetta coincidenza fra i due set di coordinate. In tal modo, se qualcuno dei punti della rete si fosse mosso fra una campagna e l'altra, il suo movimento sarebbe denunciato dal non adattarsi delle coordinate del secondo rilievo con quelle del primo. Avendo quindi tre o più punti stabili si potrà eseguire la rototraslazione in modo da far coincidere le coordinate delle varie campagne per tali punti; la non coincidenza degli altri punti sarà assunta come movimento degli stessi.

I punti da materializzare (25) sono stati individuati su cartografia con una approssimazione di circa 1 Km, rinviando ad una fase successiva la ricerca dei siti sul campo in base alle indicazioni fornite nelle specifiche allegate.

TAB. 4 - RIEPILOGO PUNTI GPS

PUNTI	ISTITUZIONE
1	NUOVO
2	NUOVO
3	NUOVO
4	NUOVO
5	NUOVO
6	NUOVO
7	NUOVO
8	NUOVO
9	NUOVO
10	NUOVO
11	NUOVO
12	Comune di Modena
13	NUOVO
14	NUOVO
15	NUOVO
16	R.E.R - Ufficio Cartografico
17	NUOVO
18	NUOVO
19	Autorità di Bacino F. Reno
20	R.E.R - Ufficio Cartografico
21	NUOVO
22	Cs 045010 (Mag.per il Po di Fe)
23	AGIP
24	Facoltà di Ingegneria di Bologna
25	Facoltà di Ingegneria di Bologna
26	R.E.R - Ufficio Cartografico
27	R.E.R - Ufficio Cartografico
28	NUOVO
29	Cs 054070 (Mag.per il Po di Fe)
30	R.E.R - Ufficio Cartografico
31	R.E.R - Ufficio Cartografico
32	R.E.R - Ufficio Cartografico
33	Cs 068010 (Mag. per il Po di Fe)
34	AGIP
35	Comune di Ravenna
36	Comune di Ravenna
37	NUOVO
38	Autorità di Bacino F. Reno

39	NUOVO
40	NUOVO
41	Cs 082010 (Mag. per il Po di Fe)
42	NUOVO
43	Comune di Ravenna
44	Cs 088100 (Idroser)
45	NUOVO
46	Cs 098090 (Mag.per il Po di Fe)
47	NUOVO
48	NUOVO
49	Comune di Ravenna
50	AGIP
51	Cs fuori rete (Idroser)
52	AGIP
53	AGIP

4. IL SISTEMA DI GESTIONE DELLE SCHEDE MONOGRAFICHE

Nell'ambito del progetto è stato realizzato un sistema di gestione delle monografie relative ai capisaldi di livellazione geometrica ed ai punti GPS. Tale sistema informativo è stato sviluppato in ambiente Windows95 con il sistema di gestione database ACCESS 7.0.

Le principali potenzialità del sistema si possono così riassumere:

- 1) Gestione delle fasi fondamentali di creazione, modifica e cancellazione di dati relativi alle monografie dei capisaldi di livellazione e GPS ed agli enti che hanno istituito i capisaldi stessi. Tali operazioni sono supportate da numerose procedure a tutela dell'integrità e coerenza del patrimonio informativo (ad es. dizionari dati controllati).
- 2) Integrazione dei dati alfanumerici con dati di tipo grafico (fotografie, estratti di mappa, elaborati fuori scala) acquisiti mediante scansione automatica.
- 3) Possibilità di interrogazioni sui dati predefinite oppure libere mediante accesso diretto alle routines di ACCESS. In particolare sono previste interrogazioni, con produzione di rapporti a video o a stampa, sui capisaldi costituenti le singole linee di livellazione (nodali e intermedi) e su capisaldi aventi specifiche caratteristiche.
- 4) Predisposizione del sistema per un ampliamento dello stesso ai fini di una gestione più completa dell'intero patrimonio informativo relativo a rilievi storici e futuri.

Ogni caposaldo, esistente o da istituire, è stato denominato utilizzando un sistema di codifica numerico a 6 caratteri:

1 2 3

CODICE CAPOSALDO DI LINEA: 6 CARATTERI su 3 CAMPI: *** | ** | *

1. PROGRESSIVO LINEA;
2. PROGRESSIVO CAPOSALDO;
3. RAFFITTIMENTO o RIPRISTINO

es.: 001010 - linea 1, caposaldo 1, prima istituzione

1 2 3

CODICE CAPOSALDO NODALE: 6 CARATTERI su 3 CAMPI: 000 | ** | *

1. 000: NODALE;
2. PROGRESSIVO NODALE;
3. RIPRISTINO;

es.: 000010 - nodale 1, prima istituzione

Quale esemplificazione concreta della funzionalità del sistema sono stati caricati nel database i dati relativi a 106 capisaldi di livellazione, appartenenti a 7 linee, e distribuiti in un'area ad Est di Bologna compresa nei poligoni 21 e 26. Sono inoltre state caricate le schede relative a 5 capisaldi GPS già materializzati.

La realizzazione ed il rilievo della rete dovrà procedere di pari passo alla creazione di un vero e proprio sistema informativo finalizzato alla gestione delle misure.

5. ANALISI DEI COSTI

Vengono di seguito riportati i costi relativi all'istituzione della rete e alla prima misura. Si specifica che i costi relativi alla rete di livellazione scaturiscono da un'indagine condotta presso un numero ristretto di operatori che hanno già fornito servizi di natura analoga, i costi relativi ai punti 4-6-8-9 sono stati indicati dal DISTART (Università di Bologna) e il costo al punto 7 è stimato.

RETE DI LIVELLAZIONE	prezzi unitari	quantità	TOTALI
ISTITUZIONE DELLA RETE			
1- contrassegno	12.000	550	6.600.000
2- messa in opera	80.000	550	44.000.000
LIVELLAZIONE DI ALTA PRECISIONE			
3- misure	400.000	2.000	800.000.000
4- calcolo e compensazione			24.000.000
5- Direzione Lavori			35.000.000
SISTEMA INFORMATIVO			
6- AMPLIAMENTO DEL SOFTWARE			15.000.000
7- CARICAMENTO MONOGRAFIE E DATI STORICI			27.000.000
RETE GPS			
8- ISTITUZIONE			30.000.000
9- MISURA			100.000.000
TOTALE			1.081.600.000 (IVA ESCLUSA)

Si fa notare che il numero dei contrassegni da materializzare (550) è stato aumentato rispetto alla Tab. 2 (523) ipotizzando una piccola quantità di contrassegni scomparsi anche sulle linee misurate più di recente sulle quali non è stato effettuato il sopralluogo. Anche il numero dei chilometri di livellazione è stato aumentato rispetto alla stessa tabella inserendo il chilometraggio approssimativo relativo ai collegamenti tra i punti GPS e i capisaldi di livellazione.

I prezzi relativi alle voci 1-2-3 e 5, per un ammontare complessivo di L. 885.600.000, sono da intendersi come base d'asta, pertanto sono suscettibili di un ribasso variabile tra il 10 e il 20%

Per lo svolgimento delle attività si può prevedere un tempo massimo di due anni secondo la seguente ripartizione:

I° ANNO

• ISTITUZIONE DELLA RETE	80.600.000
• COMPLETAMENTO DEL SISTEMA INFORMATIVO	42.000.000
TOTALE	122.600.000

II° ANNO

• ESECUZIONE DELLE MISURE	959.000.000
---------------------------	--------------------

6. CONCLUSIONI

La rete di controllo della subsidenza, costituita dall'interazione tra la rete di livellazione e la rete GPS, si configura come uno strumento di sintesi delle esperienze e delle iniziative che, in passato, hanno contribuito a mettere in luce e quantificare il fenomeno di abbassamento del suolo in ambiti territoriali diversi all'interno della Regione. A partire da tale sintesi si è quindi proceduto a colmare le lacune esistenti ricercando, al contempo, una distribuzione uniforme dei punti di misura tale da garantire un'agevole correlazione con altri parametri derivanti dalla ormai ventennale attività della rete regionale di controllo dell'acquifero. Se da una parte, quindi, tale correlazione appare di primaria importanza, compito della rete e del suo sistema di gestione dei dati sarà anche l'acquisizione e la distribuzione delle informazioni in una prospettiva d'interscambio continuo con altre realtà operanti sul territorio.

Si ritiene che, una volta istituita, la rete vada misurata nella sua globalità andando ad eseguire una campagna di livellazione di alta precisione sull'intera rete di capisaldi e una campagna di misure GPS e i relativi collegamenti, tramite livellazione, tra ciascun punto GPS e il caposaldo più prossimo; le operazioni non devono superare la durata massima di tre mesi. Successivamente le misure dovrebbero essere ripetute completamente ogni sei anni, per la rete di livellazione, e ogni tre anni per la rete GPS in modo che una campagna GPS ogni due coincida con una campagna di livellazione; anche se tali cadenze possono rappresentare un buon compromesso fra costi e benefici potrebbero subire modifiche sulla base dei risultati di ripetizioni parziali da parte di altri enti.

Le misure effettuate dovranno confluire nel database creato per la gestione delle monografie dei capisaldi, strumento che dovrà essere ampliato in modo tale da costituire un vero e proprio sistema informativo in grado di elaborare anche i dati storici al fine di ricostruire, laddove è possibile, l'evoluzione del fenomeno fino alle tendenze più recenti. In prospettiva, quindi, le principali attività dovranno essere:

1. istituzione della rete (livellazione e GPS);
2. completamento del sistema informativo;
3. esecuzione delle misure.

Il tempo previsto per la realizzazione di tale programma è di due anni. Le fasi 1 e 2 possono essere svolte nel corso del primo anno prevedendo l'esecuzione delle misure nel periodo aprile.- giugno dell'anno successivo.

Si ritiene inoltre opportuno che le operazioni di campagna relative alle misure di livellazione siano seguite con funzioni di controllo da personale dei Servizi Provinciali Difesa del Suolo, avendo già espletato tali mansioni, con ottimi risultati, in occasione di rilievi analoghi sulla rete di livellazione della costa. Per ciò che attiene i lavori relativi all'istituzione e misura della rete GPS, il calcolo e la

compensazione delle misure di livellazione e l'ampliamento del software si ritiene fondamentale la collaborazione del Laboratorio di Topografia del DISTART (Università di Bologna), mentre lo svolgimento delle restanti attività costituirà oggetto di gara d'appalto secondo le normative vigenti in materia.

Si vuole infine richiamare l'attenzione sull'importanza del caposaldo in quanto segnale permanente: il suo valore non risiede, evidentemente, nell'oggetto in sé quanto nella sua funzione geodetica che richiede investimenti spesso di grande rilevanza. La scomparsa di un caposaldo determina l'impossibilità di proseguire il monitoraggio del suolo in quel dato punto provocando l'interruzione della serie storica; il ripristino del caposaldo scomparso determinerà l'inizio di una nuova serie in ogni caso sganciata dalla serie precedente. Ragioni economiche e tecniche suggeriscono quindi l'opportunità di attivare un servizio di controllo dei segnali attraverso periodiche ricognizioni.

Tali controlli potrebbero essere espletati sia direttamente da personale regionale sia dagli organi preposti alla manutenzione della viabilità (ANAS, Province, Comuni) in quanto spesso i capisaldi sono ancorati a spallette di ponti o altri manufatti lungo le strade. In tal senso è auspicabile l'intervento di una normativa regionale a protezione dei segnali che riprenda la legge nazionale sulla "Protezione dei segnali" - n°1024, 3 giugno 1935 - istituiti da Enti dello Stato.

Allegato 1

Regione Emilia Romagna - Rete regionale di controllo della subsidenza
Scheda sopralluogo capisaldi di livellazione

Caposaldo _ _ _ _ _

Data sopralluogo.....Operatori.....

Caposaldo già esistente (SI) / (NO)

Denominazione originaria

Istituito da anno

Comune Provincia

Indirizzo

Descrizione.....

.....

.....

Cartografia 1:50.000 foglio n° Coordinate

Latitudine Longitudine Derivazione

Dati fotografia: pellicola n° fotogramma n°

Note.....

.....

.....

elaborato fuori scala

fotografia

segue descrizione n. contrassegni secondari

Scheda sopralluogo capisaldi di livellazione - Contrassegni secondari esistenti

Caposaldo orizzontale (SI)/(NO)

Denominazione originaria

Istituito da anno

Indirizzo.....

Descrizione

Stato di conservazione (BUONO) / (DISCRETO) / (SCADENTE)

Note.....

Caposaldo orizzontale (SI)/(NO)

Denominazione originaria

Istituito da anno

Indirizzo.....

Descrizione

Stato di conservazione (BUONO) / (DISCRETO) / (SCADENTE)

Note.....

Caposaldo orizzontale (SI)/(NO)

Denominazione originaria

Istituito da anno

Indirizzo.....

Descrizione

Stato di conservazione (BUONO) / (DISCRETO) / (SCADENTE)

Note.....

Allegato 2

The screenshot shows the main menu of the 'Rete geodetica per il controllo della subsidenza' (Geodetic network for subsidence control) in the Emilia-Romagna region. The interface is divided into a left sidebar and a main content area.

Left Sidebar:

- Logo of **arpa** (agenzia regionale prevenzione e ambiente dell'emilia-romagna).
- Text: **progetto e realizzazione** followed by the logo of **DISTART Università di Bologna**.

Main Content Area:

Header: **Regione Emilia Romagna**

Section: **Rete geodetica per il controllo della subsidenza**

Menu items (all with checkboxes):

- Archivio Caposaldi di livellazione
- Archivio Caposaldi GPS
- Archivio linee di livellazione
- Archivi di riferimento
- Report caposaldi livellazione
- Report caposaldi GPS
- Schema di rete
- Configura il database
- Esci dal database

Schermata del menu principale di ingresso

The screenshot shows the 'Scheda caposaldo di livellazione' (Leveling benchmark card) form for the benchmark ID 076200. The form is titled '--- Caposaldi di livellazione' and 'Scheda caposaldo di livellazione 076200'.

Form Fields:

- ID caposaldo: **076200**
- Dist. progressiva: **0**
- Anno istituzione: **1984**
- Denom. originaria: **3/17**
- Istituito da: **IDROSER** (with 'Dettagli Ente' button)
- Località: **VEDRANA**
- Comune: **BUDRIDO** (with 'Dettagli Comune' button)
- Provincia: **BO**
- Ubicazione: **VIA GHIARADINO 2 - R.A.V.E. RICAMBI AGRICOLI**
- Tipologia: **Pomello**
- Descrizione: **INFISSO PRESSO LO SPIGOLO NORD-OVEST DEL CAPANNONE**
- Est: **704025**
- Nord: **4937020**
- Derivazione coordinate: **Cartografia 1:50000**
- Foglio: **221**
- Da ripristinare:
- Da istituire:
- Scomparso: Anno Scomparsa:
- Stato di conservazione: **Buono**
- Data ultimo sopralluogo: **27/11/96**
- Operatore sopralluogo: **BONSIGNORE**
- Note:

Bottom Panel:

- Buttons: **Monografia**, **Scheda dati**, **Cartografia**, **Elab. fuori scala**, **Fotografia**, **Report quote**, **Gestione quote**, **Contrass. secondari**, **Binoculars**, **Map**, **Calendar**, **Trash**, **Save**, **Refresh**.
- Record: **37** di **106**

Maschera per il caricamento dei dati relativi ad un caposaldo di livellazione



Visualizzazione della fotografia dalla scheda di un caposaldo

Maschera per il caricamento dei dati relativi ad un contrassegno secondario

The screenshot shows the main menu of the web application. On the left, there is a vertical sidebar with the ARPA logo (agenzia regionale prevenzione e ambiente dell'emilia-romagna) and the DISTART logo (Università di Bologna). The main content area has a teal header with the text "Regione Emilia Romagna" and "Rete geodetica per il controllo della subsidenza". Below the header, there is a list of menu items, each with a checkbox:

- Archivio complessivo caposaldi
- Singola monografia caposaldo
- Monografie Caposaldi su una linea di livellazione
- Monografie per Provincie di appartenenza
- Monografie per Comune di appartenenza
- Ricerca libera

At the bottom right of the main content area, there is a checkbox labeled "Menù Principale".

Menu dei report implementati sull'archivio dei capisaldi di livellazione

The screenshot shows the "Monografie su una linea" report selection screen. The sidebar and header are identical to the previous screenshot. The main content area has a grey background with a box titled "Monografie su una linea". Inside this box, there is a form with the following elements:

- A label "Numero linea:" followed by a dropdown menu showing the value "076".
- A label "Seleziona anche i Caposaldi scomparsi" followed by an unchecked checkbox.

Below the form, there are two buttons with icons:

- A button with a document icon labeled "Report esteso".
- A button with a table icon labeled "Report di tipo tabellare".

At the bottom right of the main content area, there is a checkbox labeled "Menù Report".

Report per linea di livellazione: selezione di una linea. Il risultato del report, in forma di tabella o di successione di monografie complete, viene realizzato secondo l'ordine dei capisaldi sulla linea, dal nodale iniziale al nodale finale

Allegato 3

Allegato 4

Specifiche tecniche per l'esecuzione della livellazione geometrica di alta precisione

1) Oggetto

L'oggetto delle presenti specifiche è la livellazione geometrica di alta precisione per l'esecuzione della rete progettata per il controllo della subsidenza nella porzione di Valle Padana di pertinenza della Regione Emilia-Romagna.

Data l'ampiezza della rete, essa potrà essere divisa in lotti onde poter ridurre i tempi di misura, dell'intera rete, che non dovranno superare i 3 mesi.

2) Tratti, linee e capisaldi

La porzione di livellazione compresa fra due capisaldi successivi viene denominata tratto; più tratti consecutivi aventi come estremi due capisaldi nodali costituiscono una linea di livellazione. Un caposaldo viene detto nodale quando da esso si dipartono tre o più linee di livellazione.

I capisaldi sono di diversa tipologia in quanto la rete comprende linee già materializzate da enti diversi e linee di nuova istituzione. Per le linee di nuova istituzione i capisaldi devono essere di tipo toroidale a muro in acciaio inossidabile od in ghisa (fig.1) ed affissi a strutture già stabilizzate sul terreno (antichi fabbricati, spallette di ponti, muri di sostegno, ecc.) ad una altezza tale da non presentare difficoltà per l'appoggio della stadia. La loro distanza deve essere compresa fra 0.8 e 1.2 km salvo diversa prescrizione per zone di particolare interesse.

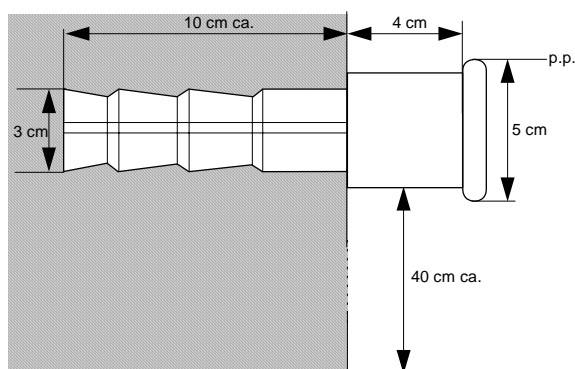


Fig. 1 - Caposaldo toroidale a muro.

3) Documentazione tecnica fornita dall'appaltatore

All'atto dell'appalto verranno forniti alla Ditta appaltante i seguenti documenti:

3-1) Linee già materializzate

- a) Planimetria con indicati i lotti, le linee ed i capisaldi nodali.
- b) Planimetria in scala adeguata con indicati i capisaldi di livellazione con indicazione di eventuali capisaldi mancanti e da ripristinare secondo le indicazioni del paragrafo 2.
- c) Monografie dei capisaldi relativi al lotto o ai lotti appaltati.

3-2) Linee di nuova istituzione

In questo caso oltre ai documenti (a) e (b) del precedente comma, sarà fornito anche un capitolato di appalto per la materializzazione dei capisaldi secondo quanto contenuto in questo documento al paragrafo 2.

Per tali linee sarà fornito anche il modello per la stesura delle monografie dei capisaldi: stesura che compete all'appaltatore ed i cui oneri sono ricompresi nell'appalto per la materializzazione sopra menzionato.

4) Strumentazione

La strumentazione di una squadra operativa (vedi paragrafo 5) deve essere la seguente:

- a) Un livello con relativo treppiede
- b) due stadia
- c) due piastre di appoggio per la stadia
- d) picchetti in acciaio ed un legno per l'appoggio della stadia in terreni incoerenti
- e) un ombrellone.

4-a) Livello

Il livello può essere a livella (inglese su linea) o a compensatore.

Nel primo caso la livella deve presentare una sensibilità di almeno 10"/2mm nonché il dispositivo per la lettura del centramento a coincidenza di immagini.

Nel secondo caso il compensatore deve garantire un errore accidentale nel ripristino della linea di mira non superiore a 0".3.

Il livello deve essere munito di micrometro ottico per la lettura alla stadia con graduazione corrispondente a 0.1 millimetro di spostamento della linea di mira. Il cannocchiale deve avere un obiettivo di almeno 40 millimetri di apertura libera ed almeno 40 ingrandimenti. Per i livelli a compensatore sono da preferirsi quelli con certificazione di amagnetismo.

Il livello può anche essere di tipo digitale con stadia invar a codice di barra.

Allo stato attuale i livelli di tale tipo che soddisfano ai requisiti per la livellazione di alta precisione sono del tipo Wild-Leica NA 3000, Zeiss DiNi 10 e Topcon DL 101.

Le ditte partecipanti alle gare di appalto dovrebbero specificare il tipo o i tipi di livello che useranno qualora esse risultassero vincitrici.

4-b) La stadia di 2 o 3 metri, oltre che essere a nastro invar e con intelaiatura preferibilmente in legno, dovranno essere munite di livella sferica per la verticalizzazione.

4-c) Le piastre di appoggio devono essere di peso adeguato e munite di appoggio semisferico.

4-d) In terreni incoerenti o acquitrinosi o scarsamente consolidati possono essere usati per l'appoggio della stadia picchetti in ferro od aste in legno infissi profondamente nel terreno: la testata superiore di tali picchetti deve essere comunque in metallo e rotondeggiante.

5) Squadra operativa

La squadra operativa deve essere composta da almeno 4 persone: un operatore, una persona per portare l'ombrellone e per trascrivere i dati di misura là dove sia necessario e due portastadie.

6) Verifiche e rettifiche

La verifica dell'orizzontalità della linea di mira va fatta ogni settimana e si dovrà procedere alla rettifica quando la deviazione della linea di mira superi gli 0,1 millimetri/10 m.

I dati di verifica e di eventuale rettifica vanno riportati su di un modulo da consegnare assieme agli elaboratori di campagna.

Per quanto riguarda le stadie, esse devono essere calibrate con certificazione dall'I.G.M.I. o da altro laboratorio autorizzato, non prima di un mese dall'inizio dei lavori e non oltre

un mese dopo la fine degli stessi. La verifica della livella sferica dovrà essere effettuata settimanalmente e si dovrà procedere alla rettifica quando l'errore di verticalità della stadia superi il centimetro per la stadia di tre metri ed i 7 millimetri per quella di due. Certificati di calibrazione e moduli relativi alle verifiche e rettifiche della livella devono essere consegnati con gli elaborati di campagna.

7) Operazioni di misura

7-1) Generalità

Prima di iniziare le operazioni di misura, occorre fare assumere al livello la temperatura ambiente. Si consigliano 2 minuti di attesa ogni grado di differenza fra la temperatura esterna e quella del luogo dove era conservato lo strumento.

Lo strumento deve sempre essere protetto dai raggi del sole e non si deve lavorare né all'alba, né al tramonto, né tantomeno di notte con luce artificiale. Nei mesi più caldi interrompere le misure dalle 12 alle 14 ora solare.

7-2) Esecuzione di una stazione

La distanza massima di battuta è di 40 metri. Non si devono effettuare battute con linea di mira con altezza dal suolo inferiore a 0,5 metri e non superiore ai 2,8 metri. Il livello deve trovarsi ad uguale distanza dalle due stadiie con una tolleranza di un metro.

La sequenza delle letture, per i livelli non digitali, deve essere la seguente:

a) Stadia indietro

Lettura ai fili distanziometrici sulla scala minore

Lettura alla scala minore

Lettura scala maggiore e controllo della costante di stadia

b) Stadia avanti

Lettura scala minore

Lettura scala maggiore e controllo della costante di stadia

Lettura ai fili distanziometrici scala maggiore e controllo delle distanze di battuta.

Le letture sono accettabili quando la differenza fra la lettura alla scala maggiore e quella della scala minore non differisce dal valore della costante di stadia per più di 0.2 millimetri.

Per i livelli digitali la serie di misure deve essere la seguente:

a) Stadia indietro

Serie di letture alla stadia e rilievo della distanza

b) Stadia avanti

Serie di letture alla stadia e rilievo della distanza e confronto fra le distanze di battuta.

Ciascuna serie di misure deve essere formata da almeno 6 letture. Tale numero di letture va aumentato qualora lo scarto quadratico medio delle stesse superi lo 0.1 millimetro fino al raggiungimento di tale limite.

7-3) Esecuzione di un tratto

La misura del dislivello fra due capisaldi consecutivi deve essere effettuata in andata e ritorno possibilmente nello stesso giorno e comunque con lo stesso numero di stazioni. Il numero di stazioni all'interno di un tratto deve sempre essere pari in modo da iniziare e concludere il tratto con la stessa stadia.

Sia nell'andata che nel ritorno la differenza fra la somma delle lunghezze delle battute indietro e quella delle battute avanti non può superare i 4 metri in valore assoluto.

8) Tolleranze

8-1) Per quanto riguarda il tratto la discordanza fra valori assoluti dei dislivelli misurati in andata (A) ed in ritorno (R) non deve superare in valore assoluto la seguente tolleranza (t):

$$t = 3\sqrt{D} \text{ mm}$$

con D lunghezza del tratto in chilometri.

Se la tolleranza è rispettata, si assume come dislivello del tratto:

$$\Delta h = \frac{A - R}{2}$$

Se la tolleranza non è rispettata si deve rimisurare il tratto in andata e ritorno verificando nuovamente il rispetto della tolleranza stessa.

8-2) Per quanto riguarda la chiusura degli anelli, l'errore di chiusura non dovrà superare in valore assoluto la seguente tolleranza (t):

$$t = 3\sqrt{L} \text{ mm}$$

con L lunghezza dell'anello in chilometri. Qualora tale tolleranza non fosse rispettata, l'individuazione del tratto, dei tratti o delle linee responsabili dell'errore va fatta dalle ditte appaltatrici sotto la supervisione e responsabilità del direttore dei lavori che ordinerà alla ditta responsabile la ripetizione del tratto o dei tratti o delle linee responsabili dell'errore e ciò fino a che la tolleranza non venga rispettata.

9) Documentazione da fornire da parte degli appaltatori

La ditta appaltatrice dovrà fornire al direttore dei lavori nei limiti stabiliti dallo stesso:

9-1) Copia dei moduli originali di campagna (per i livelli digitali si intende una stampa cartacea del file dati originale)

9-2) Certificati di calibrazione delle stadie e moduli di verifica e rettifica dei livelli e delle stadie

9-3) Per ogni tratto livellato deve essere consegnato un documento nel quale siano indicati:

- a) Capisaldi estremi del tratto
- b) Dislivelli misurati in andata e ritorno ed eventuali ripetizioni
- c) Dislivello calcolato e discrepanze fra andata e ritorno
- d) Lunghezza del tratto e numero di battute
- e) Data di esecuzione delle misure

9-4) Per gli anelli di pertinenza di una stessa ditta appaltatrice deve essere fornita l'indicazione delle linee formanti l'anello e l'errore di chiusura dello stesso nonché i dislivelli calcolati per ogni linea ed i tratti componenti le linee stesse.

Per le linee aperte, oltre a fornire la discrepanza dei tratti fra andata e ritorno, dovrà essere anche calcolato l'errore chilometrico di linea con la formula:

$$\mu = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\sum \frac{d_i^2}{D_i}}{n}}$$

con d discrepanza in mm e D lunghezza del tratto in km; essa dovrà essere inferiore a 1,5 mm.

9-5) Per i tratti di nuova istituzione, l'appaltatore deve inoltre fornire le monografie dei capisaldi secondo lo schema fornito.

Ciò vale anche nel caso di ripristino di capisaldi mancanti nelle linee già istituite.

9-6) Relazione tecnica sul lavoro svolto

Tutta la documentazione tranne quella relativa ai punti 1 e 2, va presentata in copia cartacea e su supporto informatico secondo le specifiche che verranno fornite dal direttore dei lavori.

10) Collaudo

Il collaudo si articolerà in due fasi:

- collaudo in corso d'opera
- collaudo finale.

10-1) Collaudo in corso d'opera

Il collaudo in corso d'opera consiste, oltre che nella verifica di una corretta materializzazione dei nuovi capisaldi (laddove vi siano), nella misura dei dislivelli relativi ad un numero di tratti la cui lunghezza complessiva deve essere dell'ordine del 7% della lunghezza totale delle linee costituenti il lotto. Tali misure devono essere effettuate con le stesse modalità seguite per il rilievo del lotto ed i dislivelli così trovati devono differire da quelli già determinati di non più di:

$$\pm 3\sqrt{D} \text{ mm}$$

con D lunghezza in chilometri del tratto considerato. Se i tratti fuori tolleranza superano il 25% dei tratti controllati, si procederà con un altro campione rappresentante il 10% della lunghezza totale del lotto. Se anche in questo secondo caso il 25% dei tratti controllati risultasse fuori tolleranza, il lotto non sarà collaudato.

I tratti da controllare saranno scelti dal direttore dei lavori ed eseguiti dalla ditta appaltatrice sotto la sua diretta sorveglianza.

10-2) Collaudo finale

Il collaudo finale consiste nell'esame di tutta la documentazione fornita dalla ditta appaltatrice per verificare il rispetto di tutte le indicazioni e delle tolleranze contenute nelle specifiche tecniche e delle risultanze del collaudo in corso d'opera.

Il lotto sarà collaudato se le verifiche sopraddette daranno tutte esito positivo.

Allegato 5

Specifiche tecniche per l'esecuzione di una rete GPS di alta precisione.

1) Oggetto

Si tratta di una vasta rete di 53 capisaldi coprenti la porzione di Valle Padana di pertinenza della Regione Emilia Romagna. La rete deve essere rilevata in un solo blocco ed in un lasso di tempo non superiore a 45 giorni. Le finalità della rete impongono una particolare cura nella misura dell'altezza dell'antenna con l'uso anche di particolari accorgimenti (aste rigide di lunghezza costante, ecc.).

2) Scelta dei siti e materializzazione dei capisaldi

Ferma restando l'ubicazione di massima dei capisaldi fornita dall'appaltante, essi devono comunque essere posti in vicinanza delle linee della rete di livellazione geometrica e collegati, all'atto delle misure, al caposaldo più vicino di quest'ultima tramite livellazione di alta precisione seguendo le specifiche tecniche fornite dall'appaltante.

La scelta finale del sito sarà effettuata rispettando i seguenti dettati:

- a) Accessibilità con l'autovettura (a distanza di cavo strumento-antenna)
- b) Stabilità del manufatto sul quale materializzare il caposaldo
- c) Visibilità dei satelliti
- d) Buona ricezione del segnale.

In particolare per il punto b) la scelta deve tendere a privilegiare: spallette di ponti, muri di sostegno ben stabilizzati, chiuse e saracinesche, muretti di recinzione, ecc. In mancanza di tali manufatti si dovrà procedere ad una materializzazione più complessa in chiusino interrato su di un piccolo palo trivellato, o altra fondazione adatta, e circondato da un'ampia zona di rispetto. La scelta dei siti ed il tipo di manufatto per la materializzazione deve essere approvata dal direttore dei lavori.

Per quanto attiene al punto c) la situazione ideale è quella di un sito con cielo scoperto al di sopra dei 15°-20° gradi di elevazione in tutte le direzioni. Sono però ammessi siti con cielo coperto in un settore di ± 35 gradi rispetto al Nord geografico purché gli ostacoli non siano rappresentati da pareti verticali vicine al punto di stazione. Sono altresì ammessi

siti che presentano esili ostacoli nelle altre direzioni. Tali ostacoli però devono essere rilevati in azimuth ed in angolo di elevazione e segnati nello sky-plot che farà parte delle monografie (esempio in figura 1) e di essi dovrà tenersi conto durante le misure allungando, ove necessario, le sessioni di misura per recuperare il tempo di un eventuale oscuramento di un numero di satelliti tale da portare a meno di 4 il numero di satelliti contemporaneamente visibili.

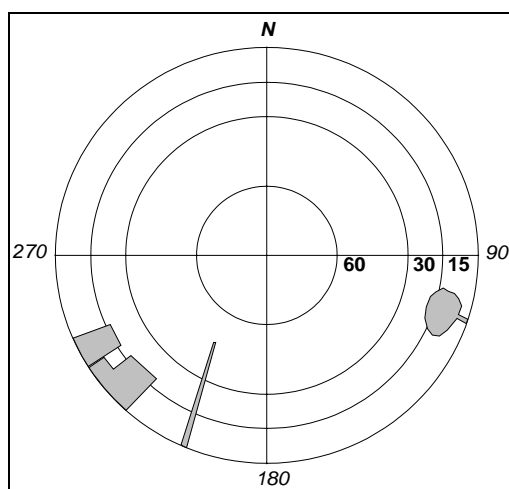


Fig. 1 - Esempio di sky-plot

Per quanto riguarda il punto d), oltre a stare lontani da antenne trasmettenti, dai fili dell'alta tensione, dalle strade con traffico pesante si richiede che, prima della materializzazione, si verifichi, con uno strumento dello stesso tipo di quelli che saranno usati nelle campagne di misura, l'assenza di disturbi sulla ricezione di entrambe le frequenze. Il caposaldo del tipo di fig. 2 sarà fornito dal committente e per la messa in opera sarà usato normale cemento.

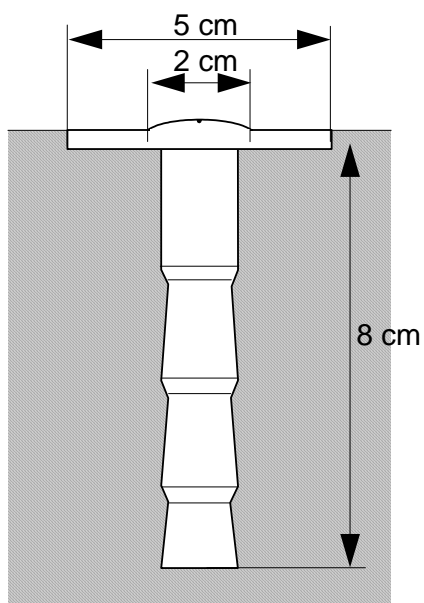


Fig.2 - Caposaldo per misura GPS

3) Tipo e numero di strumenti da usarsi nelle campagne di misura

Debbono essere usati esclusivamente apparati geodetici a doppia frequenza dell'ultima generazione della stessa marca e dello stesso tipo. Il numero di strumenti da usarsi per ogni sessione di misura non deve essere inferiore a 4.

4) Numero delle misure e loro distribuzione nella rete

Ragionando in accordo col principio delle basi indipendenti date, per ogni sessione di misura, da $r-1$ (se r è il numero di ricevitori operanti contemporaneamente), detto n il numero di punti della rete ed N il numero di basi indipendenti si deve avere una sovrabbondanza K :

$$K = \frac{N}{n-1} \geq 2$$

ottenibile con un numero di sessioni pari a:

$$S \geq \frac{2(n-1)}{r-1}$$

e tale sovrabbondanza deve essere ben distribuita nella rete.

Tale buona distribuzione la si ottiene anche applicando le seguenti modalità operative:

a) Ogni punto della rete deve essere occupato per almeno due sessioni di misura e possibilmente con strumenti diversi. Fra una sessione e l'altra, l'antenna deve comunque essere rimossa e rimessa in stazione.

b) Le sessioni di misura devono essere organizzate in modo tale da poter avere ogni punto collegato da almeno 3 basi indipendenti.

c) Compatibilmente con le distanze in gioco si consiglia l'uso di stazioni master; stazioni cioè sulle quali lasciare fisso uno strumento per alcuni giorni ed acceso 24 ore al giorno per poterlo collegare a stazioni permanenti in funzione (Padova, Venezia, Matera, ...) onde ottenere le coordinate delle stazioni stesse nel sistema di riferimento internazionale.

Tutto quanto detto nei punti 2-3-4 deve essere esplicitato nel progetto da presentare alla gara d'appalto che deve contenere anche il piano dettagliato delle sessioni di misura.

5) Durata delle sessioni di misura

Sulla base delle risultanze del progetto di cui al punto precedente e calcolate le lunghezze delle basi più lunghe da determinarsi nelle singole sessioni di misura, la durata delle sessioni dovrà essere legata alla lunghezza della base maggiore misurabile in quella sessione secondo la seguente tabella, usando un intervallo di ricezione di 15 secondi.

distanza massima (Km)	durata della sessione (ore)
≤ 50	3
< 80	5

Tale durata si intende come vera e cioè il tempo nel quale sono presenti tutti i satelliti visibili e comunque mai meno di 4. Se per ostacoli od altre ragioni si verificasse un intervallo di tempo con meno di 4 satelliti, tale tempo andrà recuperato (è necessario quindi un collegamento telefonico o radio fra le varie stazioni operanti contemporaneamente per decidere la fine o la prosecuzione delle sessioni).

6) Documenti da compilarsi all'atto delle misure

Durante le sessioni di misura l'operatore, oltre ad osservare quanto fino ad ora specificato dovrà compilare la scheda di stazione che verrà fornita dall'appaltante, nonché raccogliere

tutta la documentazione necessaria alla compilazione delle monografie secondo lo schema anch'esso fornito.

7) Documenti da presentare a fine lavoro

Oltre a consegnare le schede di stazione e le monografie complete dei punti l'appaltatore dovrà presentare una relazione sul lavoro svolto mettendo in luce il rispetto delle specifiche tecniche e del progetto presentato.

Dovrà inoltre fornire tutti i file di osservazione sessione per sessione, nonché una elaborazione delle basi indipendenti scelte dal progetto con il software fornito dalla casa costruttrice degli apparati riceventi ed usando le effemeridi precise. La soluzione deve essere tale da fissare le ambiguità di fase e da eliminare tutti i cycle-slip presenti.