

# PROVINCIA DI BOLOGNA

**ISTITUZIONE E MISURA DELLA RETE DI CONTROLLO DELLA  
SUBSIDENZA DEL TERRITORIO PROVINCIALE DI BOLOGNA**

**RELAZIONE FINALE**

**Bologna, giugno 2000**



Ingegneria Ambientale

## INDICE

<b>1. Premessa</b>	<b>1</b>
<b>2. Progetto della rete di controllo della subsidenza del territorio provinciale di Bologna</b>	<b>2</b>
2.1 <i>Descrizione della rete</i>	2
2.2 <i>Ubicazione dei capisaldi di riferimento</i>	4
<b>3. Esecuzione delle misure di livellazione</b>	<b>5</b>
3.1 <i>La gara d'appalto</i>	5
3.2 <i>Realizzazione dei rilievi</i>	6
<b>4. Collaudo</b>	<b>12</b>
4.1 <i>Collaudo in corso d'opera</i>	12
4.2 <i>Collaudo finale</i>	12
<b>5. Calcolo e compensazione della rete di livellazione</b>	<b>13</b>
<b>6. Conclusioni</b>	<b>14</b>

## APPENDICE

- 1. Planimetria della rete di livellazione**
- 2. Riepilogo delle quote**

## 1. PREMESSA

Con il contratto stipulato il 21/10/1999 la Provincia di Bologna ha affidato ad ARPA l'incarico per la realizzazione del progetto per l'istituzione e la livellazione della rete di controllo della subsidenza del territorio provinciale di Bologna, nel seguito indicata come "rete provinciale".

La rete provinciale è stata progettata dalla struttura di Ingegneria Ambientale dell'ARPA in collaborazione con l'Ufficio Risorse Idriche della Provincia il quale ne ha curato, successivamente, anche l'istituzione attraverso le necessarie ricognizioni e materializzazioni di capisaldi di livellazione. La progettazione ha puntato sulla massima valorizzazione delle iniziative presenti al fine di limitare il più possibile l'istituzione di nuovi capisaldi e, contemporaneamente, di dare continuità alle serie storiche esistenti. La rete provinciale si configura quindi come un raffittimento della rete regionale ed è costituita per la gran parte da capisaldi preesistenti appartenenti ad Enti diversi. In particolare risulta costituita da linee della rete regionale stessa, da linee della rete di controllo della subsidenza istituita dal Comune di Bologna (limitatamente alla cosiddetta "Rete Grande"), da linee della rete di livellazione dell'Autorità di Bacino del Reno e da altre linee istituite *ex novo* dalla Provincia di Bologna. Lo sviluppo complessivo delle linee è di 1061 Km di cui 363 Km sono in comune con la rete regionale. Da tale sovrapposizione risulta evidente che la contemporaneità del rilievo delle due reti ha consentito alla Provincia di realizzare un'economia almeno pari al costo della misura delle linee comuni. Il rilievo delle reti ha comportato per ARPA l'indizione di una gara europea per l'appalto di servizi mediante licitazione privata. Tale gara, seppure svolta secondo la procedura accelerata, è iniziata il 25/1/99 ed è terminata il 20/5/99. I lavori sono stati consegnati il 2/8/99 e sono iniziati il 23/8/99. Si sono svolti nell'arco di 75 gg naturali e consecutivi come da capitolato terminando il 5/11/99. Contestualmente ai rilievi di campagna si è proceduto ai collaudi in corso d'opera e alla verifica del rispetto delle tolleranze previste sia sulle singole tratte misurate sia sulla chiusura dei poligoni. Constatato l'esito positivo di tali verifiche si sono trasmessi i dati di campagna al DISTART dell'Università di Bologna affinché procedesse alla validazione dei dati ed alla compensazione e calcolo delle

quote. Il riepilogo delle quote compensate e la presente relazione costituiscono gli elaborati finali che ARPA si è impegnata a produrre.

## **2. PROGETTO DELLA RETE DI CONTROLLO DELLA SUBSIDENZA DEL TERRITORIO PROVINCIALE DI BOLOGNA**

### **2.1 DESCRIZIONE DELLA RETE**

Si riportano di seguito considerazioni già espresse nel progetto della rete provinciale redatto nel febbraio 1999 integrate e riviste sulla base dei risultati dei rilievi eseguiti.

La rete provinciale è costituita da una rete di capisaldi di livellazione progettata procedendo ad un raffittimento delle maglie della rete regionale. Tale raffittimento, finalizzato ad un'indagine a scala provinciale, è stato in parte agevolato dalla possibilità di utilizzare linee di livellazione esistenti appartenenti alla rete della Regione, del Comune di Bologna e dell'Autorità di Bacino del Reno. Questa opportunità mette in grado di pervenire, sin dalla prima misura della rete, ad una quantificazione dei movimenti verticali intervenuti nell'ultimo periodo, limitatamente ai capisaldi preesistenti.

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. L'elaborazione del progetto definitivo si è svolta accogliendo le indicazioni derivanti dalle attività di ricognizione precedentemente effettuate sulle linee definite nella prima fase progettuale e, quindi, modificando i percorsi laddove si rendeva necessario. In particolare le ricognizioni sono state effettuate dai tecnici della Provincia per le linee di nuova istituzione e per le linee della rete del comune di Bologna non comprese nella rete regionale. Le linee della rete regionale sono state oggetto di sopralluoghi nel corso del 1998 da parte di ARPA, mentre le linee dell'Autorità di Bacino del Reno non sono state ricognite in quanto misurate di recente (1997).

La rete provinciale si estende su una superficie di circa 1894 Km<sup>2</sup>, è costituita da 196 linee di cui 192 sono distribuite su 76 poligoni, mentre 4 sono aperte. La rete ha uno

sviluppo complessivo, risultante dalle misure effettuate nel corso dei rilievi, di circa 1061 Km che collegano 1046 capisaldi.

Nella Tab.1 viene riportata, per ogni Ente Istitutore, la consistenza delle linee comprese nella rete provinciale, consistenza direttamente rilevata nel corso delle operazioni di misura e, in base alla quale, si è potuto procedere alla liquidazione dei compensi esatti spettanti alle Ditte rilevatrici essendo il costo aggiudicato un costo unitario (L/Km).

Tab. 1 Consistenza in Km delle linee di livellazione per Ente di appartenenza.

<b>ENTI</b>	<b>Km effettivi</b>
Linee della Rete Regionale (escluse le linee istituite dal Comune di Bologna)	216.003
Linee istituite dal Comune di Bologna comprese nella Rete Regionale	146.805
Linee istituite dal Comune di Bologna	264.768
Linee istituite dalla Autorità di Bacino del Reno	280.364
Linee istituite dalla Provincia. di Bologna	153.356
<b>Consistenza complessiva delle linee comprese nella rete provinciale</b>	<b>1061.296</b>

Durante le operazioni di rilievo della rete provinciale è stata constatata la scomparsa di 25 capisaldi che sono stati quindi ripristinati in corso d'opera attraverso nuove materializzazioni o con l'assunzione di capisaldi esistenti nelle immediate vicinanze. In particolare 10 capisaldi riguardano la rete regionale (di cui 2 appartenevano già alla rete del Comune di Bologna), 10 la rete dell'Autorità di Bacino del Reno e 5 la rete del Comune di Bologna per la parte non compresa nella rete regionale. Ai capisaldi ripristinati è stato attribuito un nuovo identificativo, in particolare, per i capisaldi della rete regionale, il cui identificativo è numerico a 6 cifre, la sesta cifra, che normalmente è **0**, è stata sostituita con **1**, (ad esempio, il caposaldo 079130 è diventato 079131); per i capisaldi delle altre reti è stata aggiunta una **N** alla fine del precedente identificativo (ad esempio, il caposaldo 30/2 è diventato 30/2N). E' evidente che le quote '99 relative ai capisaldi sostituiti e così identificati non possono essere confrontate con le quote di precedenti rilievi.

## 2.2 UBICAZIONE DEI CAPISALDI DI RIFERIMENTO

La rete regionale prevede l'appoggio a 6 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 5 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; i 2 capisaldi assunti dal comune di Bologna e ubicati presso Sasso Marconi e Castel dei Britti; 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 Ponte Messa (Pennabilli). Un sesto caposaldo, appartenente alla linea 33 I.G.M.I. (Sarzana-Parma), è stato individuato in Comune di Fornovo di Taro sulle pendici del M. Prinzero.

In sede di prima misura della rete è stato assunto come caposaldo origine, ovvero come caposaldo dal quale desumere la quota di partenza attraverso cui attribuire le quote agli altri cinque, 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.

La rete provinciale, ha assunto lo stesso piano di riferimento della rete regionale che, secondo quanto si è detto, è identico a quello già adottato dal comune di Bologna. Inoltre è stata rilevata anche la seconda linea di riferimento del comune di Bologna (Castel de' Britti) al fine di verificarne la stabilità rispetto a Sasso Marconi. L'invariabilità del dislivello fra i due capisaldi di riferimento può costituire una garanzia sulla stabilità di entrambi, anche se non esclude, tuttavia, il caso di un movimento sincronico.

### **3. ESECUZIONE DELLE MISURE DI LIVELLAZIONE**

#### **3.1 LA GARA D'APPALTO**

La misura della rete provinciale è stata realizzata contestualmente alla misura della rete regionale previa indizione di una gara europea per l'appalto di servizi mediante licitazione privata. In particolare la gara si è svolta secondo la seguente tempistica:

- **25/1/1999** - delibera di indizione della gara;
- **29/1/1999** - spedizione al GUCE del bando di gara;
- **22/2/1999** - termine per la presentazione delle domande di partecipazione alla gara (concessi 24 gg su un minimo di 15 e un massimo di 37);
- **3/3/1999** - 1^ seduta della commissione di gara per esame domande di partecipazione. Sono giunte entro i termini fissati n° 39 domande; richiesta di chiarimenti tecnici;
- **10/3/1999** - 2^ seduta della commissione di gara: vengono ammesse n° 17 ditte;
- **15/3/1999** - spedizione lettere d'invito;
- **30/3/1999** - 1^ seduta pubblica per apertura buste e verifica documentazione di rito; risultano giunte nei termini n°12 ditte (su 17 invitate) di cui solo 11 vengono ammesse ;
- **15/4/1999** - 2^ seduta pubblica per apertura buste relative all'offerta economica;
- **5/5/1999** - delibera di aggiudicazione;
- **17/5/1999** - rinuncia da parte di una ditta all'assegnazione di due lotti;
- **20/5/1999** - 2^ delibera di aggiudicazione per i due lotti rinunciati;
- **15/6/1999** - convocazione delle ditte aggiudicatarie per consegna dei lavori; richiesta, da parte delle ditte, di rinvio della consegna dei lavori;
- **18/6/1999** - 2^ convocazione delle ditte aggiudicatarie per comunicazione nuova data di consegna dei lavori;
- **2/8/1999** - 3^ convocazione delle ditte aggiudicatarie per consegna dei lavori;
- **23/8/1999** - inizio dei lavori.

### 3.2 REALIZZAZIONE DEI RILIEVI

Le misure di livellazione sono iniziate il 23/8/1999 e si sono svolte nell'arco di 75 gg, come da capitolato, terminando il 5/11/1999. La Direzione dei Lavori è stata curata dallo Studio Tecnico Associato Scuderi & C. coadiuvato, per i controlli di campo, da tecnici dei Servizi Provinciali Difesa del Suolo della Regione, da tecnici della Provincia e del Comune di Bologna, della SEABO e dell'AMI.

Alla D.L. sono state recapitate le librette di campagna (cartaceo o file) e la D.L. stessa ha provveduto quotidianamente a verificare il rispetto delle tolleranze previste sulla chiusura delle tratte. Nel caso di tratte fuori tolleranza, la D.L. ha provveduto ad ordinarne l'immediata ripetizione. Su richiesta delle Ditte la D.L., in accordo con ARPA, ha concesso 7 giorni di proroga, oltre il termine del 5/11/1999 in considerazione delle giornate di sospensione per maltempo, al fine di consentire alle Ditte stesse di ultimare la compilazione dei riepiloghi, rispondere alle richieste di chiarimenti ed effettuare eventuali brevi collegamenti tra capisaldi provvisori e di rete. Conclusa la fase dei rilievi, tutto il materiale pervenuto (librette di campagna e riepiloghi) è stato controllato ed elaborato al fine di verificare:

- la corrispondenza tra i riepiloghi pervenuti e i riepiloghi compilati dalla D.L.
- la chiusura, nel rispetto delle tolleranze, dei poligoni di cui si compone la rete misurata.

Lo sviluppo complessivo della rete misurata (rete regionale e rete provinciale) risulta di **3024 Km** di cui **698 Km** costituiscono la quota relativa alla sola rete provinciale escluse, quindi, le linee della rete regionale che ne fanno parte integrante (Km 363).

La rete nel suo complesso risulta costituita da 343 linee distribuite su 149 poligoni. E' stata divisa in 7 lotti aggiudicati a 5 Ditte. In particolare, come si è detto, la rete provinciale comprende 196 linee per ognuna delle quali si riportano nella Tab. 2 le caratteristiche principali.

Tab. 2 Caratteristiche principali delle linee appartenenti alla rete provinciale

LINEA	DA CS	A CS	Km previsti	Km misurati	Diff.	ENTE	LOTTO
040	000250	000260	8	8.561	0.561 ARPA		2
042	000240	000250	6	4.938	-1.062 ARPA		2
063	000340	000350	12	11.943	0.896 ARPA		4



LINEA	DA CS	A CS	Km previsti	Km misurati	Diff.	ENTE	LOTTO
080	000420	000500	11	12.270	1.270	ARPA	5
121	000330	121010	5	5.236	0.236	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
200	000180	PB0027	6	7.040	1.040	ARPA	1
201	PB0027	000231	7	6.553	-0.447	ARPA	1
203	034080	034100	2	2.277	0.277	ARPA	2
205	041070	034080	4	4.348	0.348	PROVINCIA DI BOLOGNA	2
206	PB0017	041160	13	13.369	0.369	PROVINCIA DI BOLOGNA	2
207	043230	000240	4	4.470	0.470	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	2
208	043200	043230	2	2.723	0.723	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	2
209	043150	043200	4	4.557	0.557	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	2
210	33/4	043150	4	3.560	-0.440	COMUNE DI BOLOGNA	2
211	N/23N	33/4	3	2.999	-0.001	COMUNE DI BOLOGNA	2
212	N/22	N/23N	3	2.739	-0.261	COMUNE DI BOLOGNA	2
213	N/22	N/50	1	1.592	0.592	COMUNE DI BOLOGNA	2
214	N/31	N/50	2	2.081	0.081	COMUNE DI BOLOGNA	2
215	052090	N/31	3	4.093	1.093	COMUNE DI BOLOGNA	2
216	N/3	052090	6	6.721	0.721	COMUNE DI BOLOGNA	2
217	N/2	052130	6	6.727	0.727	COMUNE DI BOLOGNA	2
218	N/4	052050	5	5.100	0.100	COMUNE DI BOLOGNA	2
219	052050	N/21	4	4.626	0.626	COMUNE DI BOLOGNA	2
220	N/21	N/22	5	6.598	1.598	COMUNE DI BOLOGNA	2
221	000231	043070	6	6.661	0.661	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	2
222	043070	PB0015	5	4.962	-0.038	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	2
223	PB0015	043150	2	2.320	0.320	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	2
224	PB0015	041160	8	8.484	0.484	PROVINCIA DI BOLOGNA	2
225	PB0026	PB0028	8	7.476	-0.524	PROVINCIA DI BOLOGNA	2
226	PB0027	PB0026	10	10.601	0.601	PROVINCIA DI BOLOGNA	2
227	000180	036070	8	7.375	-0.625	ARPA	2
228	036070	000190	7	5.965	-1.035	ARPA	2
229	034100	PB0017	6	6.465	0.465	PROVINCIA DI BOLOGNA	3
230	PB0017	000260	11	10.247	-0.753	PROVINCIA DI BOLOGNA	3
233	064190	000350	3	3.017	0.017	ARPA	3
234	000350	062010	1	1.056	0.056	ARPA	3
235	000350	PB0014	9	9.838	0.838	PROVINCIA DI BOLOGNA	3
236	066050	000430	6	6.589	0.589	ARPA	3
237	80/14	80/19	2	2.204	0.204	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
238	PB0001	80/14	2	1.785	-0.215	PROVINCIA DI BOLOGNA	3
239	000340	066050	5	5.544	0.544	ARPA	3
240	PB0011	000340	3	3.581	0.581	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
241	065110	PB0011	11	10.452	-0.548	ARPA	3
242	065090	065110	2	2.034	0.034	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
243	065060	065090	2	2.915	0.915	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
244	000290	065060	6	5.791	-0.209	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
245	053030	000290	5	5.553	0.553	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
246	000240	053030	3	3.153	0.153	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
247	049060	PB0020	12	11.890	-0.110	PROVINCIA DI BOLOGNA	3
248	PB1802	049060	8	8.172	0.172	PROVINCIA DI BOLOGNA	3
249	041160	000250	7	7.275	0.275	ARPA	3
250	PB0028	041160	7	7.196	0.196	ARPA	3
251	041070	PB0028	3	2.678	0.678	ARPA	3
252	000190	041070	8	7.271	0.271	ARPA	3

LINEA	DA CS	A CS	Km previsti	Km misurati	Diff.	ENTE	LOTTO
253	036070	PB0026	8	8.128	0.128	PROVINCIA DI BOLOGNA	3
254	PB0026	PB0015	5	5.479	0.479	PROVINCIA DI BOLOGNA	3
255	N/23N	N/24	2	2.589	0.589	COMUNE DI BOLOGNA	3
256	N/24	N/25	5	6.846	1.846	COMUNE DI BOLOGNA	3
257	N/26	051130	4	3.505	-0.495	COMUNE DI BOLOGNA	3
258	051130	N/28	3	4.144	1.144	COMUNE DI BOLOGNA	3
259	N/28	N/12	4	4.380	0.380	COMUNE DI BOLOGNA	3
260	N/12	076130	5	5.807	0.807	COMUNE DI BOLOGNA	3
261	076170	80/7	3	3.349	0.349	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
262	80/7	80/9	3	2.626	-0.374	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
263	80/9	PB1601	1	1.201	0.201	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
264	PB1601	079110	4	4.490	0.490	PROVINCIA DI BOLOGNA	3
265	079110	PB0005	9	10.113	1.113	PROVINCIA DI BOLOGNA	3
266	076060	PB0010	5	6.059	1.059	PROVINCIA DI BOLOGNA	3
267	N/29	076080	5	5.019	0.019	COMUNE DI BOLOGNA	3
268	N/37	N/29	5	5.031	0.031	COMUNE DI BOLOGNA	3
269	051100	N/37	3	3.565	0.565	COMUNE DI BOLOGNA	3
270	N/35	051100	3	3.248	0.248	COMUNE DI BOLOGNA	3
271	N/34	N/35	2	3.158	1.158	COMUNE DI BOLOGNA	3
272	N/51	N/34	2	2.282	0.282	COMUNE DI BOLOGNA	3
273	N/22	N/51	4	3.846	-0.154	COMUNE DI BOLOGNA	3
274	043070	SGS29A	4	4.012	0.012	COMUNE DI BOLOGNA	3
275	SGS29A	N/21	1	1.349	0.349	COMUNE DI BOLOGNA	3
276	N/21	N/31	3	3.170	0.170	COMUNE DI BOLOGNA	3
277	N/33	052160	8	8.934	0.934	COMUNE DI BOLOGNA	3
278	052180	N/40	3	3.903	0.903	COMUNE DI BOLOGNA	3
279	N/40	051060	4	4.947	0.947	COMUNE DI BOLOGNA	3
280	051060	N/48	4	3.961	-0.039	COMUNE DI BOLOGNA	3
281	N/48	067060	3	2.629	-0.371	COMUNE DI BOLOGNA	3
282	N/16	067080	3	3.338	0.338	COMUNE DI BOLOGNA	3
283	N/16	N/17	1	1.248	0.248	COMUNE DI BOLOGNA	3
284	N/17	025240	2	2.403	0.403	COMUNE DI BOLOGNA	3
285	025160	N/2	4	4.646	0.646	COMUNE DI BOLOGNA	3
286	N/2	N/3	3	3.209	0.209	COMUNE DI BOLOGNA	3
287	N/3	N/4	2	2.669	0.669	COMUNE DI BOLOGNA	3
288	N/4	000231	10	10.320	0.320	COMUNE DI BOLOGNA	3
289	000231	052050	4	4.578	0.578	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
290	052050	052090	3	3.629	0.629	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
291	052090	052130	3	3.135	0.135	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
292	052130	052160	3	2.662	-0.338	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
293	052160	052180	1	1.618	0.618	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
294	052180	052210	2	1.752	-0.248	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
295	052210	000280	2	1.442	-0.558	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
296	000280	C/37	1	0.471	-0.529	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
297	C/37	067030	1	0.978	-0.022	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
298	C/64	N/45	1	1.136	0.136	COMUNE DI BOLOGNA	3
299	067030	067060	1	1.442	0.442	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
300	067060	067080	2	1.727	-0.273	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
301	067080	067100	2	1.974	-0.026	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
302	067100	000330	3	3.085	0.085	ARPA-COMUNE DI BOLOGNA	3
303	000330	078060	6	5.515	-0.485	ARPA	3

LINEA	DA CS	A CS	Km previsti	Km misurati	Diff.	ENTE	LOTTO
304	078060	078100	4	4.482	0.482	ARPA	3
305	078100	000420	4	4.137	0.137	ARPA	3
306	000231	SGS29A	5	5.743	0.743	AUTORITA' BACINO RENO	4
307	SGS29A	33/4	6	8.537	2.537	AUTORITA' BACINO RENO	4
308	33/4	043200	4	5.354	1.354	AUTORITA' BACINO RENO	4
309	043200	000250	11	12.171	1.171	AUTORITA' BACINO RENO	4
310	000250	049180	18	25.974	7.974	AUTORITA' BACINO RENO	4
312	049180	RED66	14	15.961	1.651	AUTORITA' BACINO RENO	4
313	RED66	064190	6	6.416	0.416	AUTORITA' BACINO RENO	4
314	064190	062010	4	3.576	-0.424	AUTORITA' BACINO RENO	4
315	062010	000450	20	21.090	1.090	AUTORITA' BACINO RENO	4
316	PB0007	000440	6	5.633	-0.367	ARPA	4
317	000500	PB0007	7	8.231	1.231	ARPA	4
318	052130	N/32	3	2.775	-0.225	COMUNE DI BOLOGNA	4
319	N/32	N/50	4	3.803	-0.197	COMUNE DI BOLOGNA	4
320	N/32	N/33	2	1.944	-0.056	COMUNE DI BOLOGNA	4
321	N/33	N/51	1	1.719	0.719	COMUNE DI BOLOGNA	4
322	N/34	N/24	4	5.360	1.360	COMUNE DI BOLOGNA	4
323	N/24	043230	7	8.275	1.275	COMUNE DI BOLOGNA	4
324	N/43	N/40	2	2.499	0.358	COMUNE DI BOLOGNA	4
325	N/40	N/35	4	4.256	0.256	COMUNE DI BOLOGNA	4
326	N/35	N/26	3	3.472	0.472	COMUNE DI BOLOGNA	4
327	N/26	N/25	3	4.260	1.260	COMUNE DI BOLOGNA	4
328	N/25	053030	5	6.040	1.040	COMUNE DI BOLOGNA	4
329	000260	C/64	1	0.786	-0.214	ARPA - COMUNE BOLOGNA	4
330	C/64	051020	1	0.479	-0.521	ARPA - COMUNE BOLOGNA	4
331	051020	051060	2	1.924	-0.076	ARPA - COMUNE BOLOGNA	4
332	051060	051100	4	3.716	-0.284	ARPA - COMUNE BOLOGNA	4
333	051100	051130	3	2.802	-0.198	ARPA - COMUNE BOLOGNA	4
334	051130	000290	9	8.795	-0.205	ARPA - COMUNE BOLOGNA	4
335	000290	049060	5	5.378	0.378	ARPA	4
336	049060	049180	11	10.832	0.832	ARPA	4
337	025240	052210	1	1.082	0.082	COMUNE DI BOLOGNA	4
338	052210	N/43	1	0.644	-0.356	COMUNE DI BOLOGNA	4
339	N/43	051020	1	1.134	0.134	COMUNE DI BOLOGNA	4
340	051020	N/45	1	1.409	0.409	COMUNE DI BOLOGNA	4
341	N/45	067030	1	1.139	0.139	COMUNE DI BOLOGNA	4
342	067030	N/17	1	0.727	-0.273	COMUNE DI BOLOGNA	4
343	000280	025240	1	1.511	0.511	ARPA - COMUNE BOLOGNA	4
344	C/37	N/45	1	1.109	0.109	COMUNE DI BOLOGNA	4
345	N/16	067060	1	0.997	-0.003	COMUNE DI BOLOGNA	4
346	N/45	N/48	2	1.618	-0.382	COMUNE DI BOLOGNA	4
347	N/48	N/29	7	7.211	0.211	COMUNE DI BOLOGNA	4
348	N/29	N/12	4	3.939	-0.061	COMUNE DI BOLOGNA	4
349	N/12	065110	10	10.219	0.219	COMUNE DI BOLOGNA	4
350	065090	PB0020	2	2.838	0.838	AUTORITA' BACINO RENO	4
351	PB0020	RED66	12	12.264	0.264	AUTORITA' BACINO RENO	4
352	N/28	065060	10	10.320	0.320	COMUNE DI BOLOGNA	4
353	N/28	N/37	2	2.014	0.014	COMUNE DI BOLOGNA	4
354	N/29	067080	6	7.023	1.023	COMUNE DI BOLOGNA	4
355	000330	076060	5	6.176	1.176	ARPA - COMUNE BOLOGNA	4

LINEA	DA CS	A CS	Km previsti	Km misurati	Diff.	ENTE	LOTTO
356	076060	076080	1	1.926	0.926	ARPA - COMUNE BOLOGNA	4
357	076080	076130	4	4.884	0.884	ARPA - COMUNE BOLOGNA	4
358	076130	076140	1	0.939	-0.061	ARPA - COMUNE BOLOGNA	4
359	076140	076170	2	2.967	0.967	ARPA - COMUNE BOLOGNA	4
360	076170	000340	7	6.338	-0.662	ARPA	4
361	PB0011	044190	12	12.093	0.093	PROVINCIA DI BOLOGNA	4
362	066050	IDD799	5	6.265	1.265	AUTORITA' BACINO RENO	4
363	066050	PB0001	1	2.700	1.700	AUTORITA' BACINO RENO	4
364	PB0001	80/7	7	5.843	-1.157	AUTORITA' BACINO RENO	4
365	80/7	PB0010	7	6.429	-0.571	AUTORITA' BACINO RENO	4
366	PB0010	078060	7	6.500	-0.500	AUTORITA' BACINO RENO	4
367	078100	80/9	12	13.245	1.245	AUTORITA' BACINO RENO	4
368	PB1601	80/14	3	3.476	0.476	ARPA - COMUNE BOLOGNA	4
369	079110	000430	7	5.811	-1.189	ARPA	4
370	000420	079110	11	12.165	0.131	ARPA	4
371	000420	SIS110	10	11.769	1.769	AUTORITA' BACINO RENO	4
372	SIS110	PB0005	7	6.019	-0.981	AUTORITA' BACINO RENO	4
373	PB0005	077090	5	5.600	0.600	AUTORITA' BACINO RENO	4
374	077090	000450	16	20.948	4.948	AUTORITA' BACINO RENO	4
375	025190	052180	2	2.526	0.526	COMUNE DI BOLOGNA	4
376	025160	052160	4	5.124	1.124	COMUNE DI BOLOGNA	4
377	025190	025240	2	2.382	0.382	ARPA	4
378	025190	025160	3	2.778	-0.222	ARPA	4
379	025160	025010	12	11.398	-0.220	ARPA - COMUNE BOLOGNA	4
380	067100	076080	8	8.874	0.874	AUTORITA' BACINO RENO	5
381	076080	076140	7	7.239	0.239	AUTORITA' BACINO RENO	5
382	076140	000340	10	11.706	1.706	AUTORITA' BACINO RENO	5
383	000340	IDD799	9	9.800	0.800	AUTORITA' BACINO RENO	5
384	IDD799	PB0014	4	5.390	1.390	AUTORITA' BACINO RENO	5
385	PB0014	000450	12	11.512	-0.488	AUTORITA' BACINO RENO	5
387	000440	094070	7	6.813	-0.187	ARPA	5
388	077090	000440	9	7.751	-1.249	ARPA	5
389	077090	000430	8	7.594	-0.406	ARPA	5
390	SIS110	PB0007	6	7.414	1.414	PROVINCIA DI BOLOGNA	5
391	PB0007	PB0008	5	4.731	-0.269	PROVINCIA DI BOLOGNA	5
392	000500	PB0008	12	13.937	1.937	AUTORITA' BACINO RENO	6
393	PB0008	094070	8	6.664	-1.336	AUTORITA' BACINO RENO	6
450	000250	PB1802	2	2.174	0.174	PROVINCIA DI BOLOGNA	3
451	000500	096020	2	2.163	0.163	ARPA	5
453	096020	(096050)	4	3.197	0.197	ARPA (parziale)	5
Totale			990	1061.296	71.296		

Come è possibile notare da un confronto con le linee di progetto, in sede di misura della rete, è sorta la necessità di procedere alla definizione di nuovi capisaldi nodali con conseguente aumento del numero delle linee. In sostanza alcune linee sono state spezzate, rimanendo comunque invariata la loro lunghezza totale. Inoltre, rispetto alla

consistenza complessiva della rete provinciale prevista in sede di progetto, va segnalato un aumento di circa 71 Km.

Le misure di livellazione sono state eseguite seguendo le specifiche tecniche relative a livellazioni di alta precisione, già riportate nel progetto, di cui si richiamano nel seguito, in particolare, le tolleranze previste:

per quanto riguarda il tratto tra due capisaldi successivi la discordanza fra i valori assoluti dei dislivelli misurati in andata (A) ed in ritorno (R) non deve superare in valore assoluto la seguente tolleranza ( $t$ ):

$$t=2.5 \sqrt{D} \text{ mm}$$

con  $D$  lunghezza del tratto in chilometri.

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

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

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

$$t=2.5 \sqrt{L} \text{ mm}$$

con  $L$  lunghezza dell'anello in chilometri. Le verifiche eseguite sia in corso d'opera che, successivamente, in fase di calcolo e compensazione della rete hanno evidenziato il completo rispetto delle tolleranze.

I rilievi sono stati eseguiti utilizzando esclusivamente livelli digitali che, in generale, hanno consentito un aumento della produzione giornaliera rispetto ai livelli tradizionali e, contemporaneamente, una minore incidenza dell'errore umano per quanto attiene alla operazione di lettura alla stadia.

Alcune difficoltà incontrate durante la livellazione ci sono state segnalate dalle ditte appaltatrici e dalla D.L. su talune tratte appartenenti a linee dell'Autorità di Bacino del Reno, a causa sia della particolare tortuosità ed eccessiva lunghezza dei percorsi, sia della non sempre adeguata materializzazione dei segnali, (targhette con linea di fede incisa) che non consente una misura diretta in alta precisione. La misura di talune tratte ha quindi richiesto un maggiore impegno al fine di contenere gli errori di chiusura nei limiti delle tolleranze prescritte. La rilevanza strategica delle linee lungo le aste fluviali consiglierebbe l'adozione di qualche intervento di perfezionamento, compatibilmente

con le difficoltà intrinseche di certi percorsi, in modo da rendere, in generale, tali linee più omogenee rispetto alle altre linee della rete.

## **4. COLLAUDO**

### **4.1 COLLAUDO IN CORSO D'OPERA**

Il collaudo in corso d'opera, secondo le indicazioni del progetto, prevedeva la misura dei dislivelli relativi ad un numero di tratti la cui lunghezza complessiva doveva essere dell'ordine del 7% della lunghezza totale delle linee costituenti il lotto.

I tratti da controllare sono stati scelti dal direttore dei lavori ed eseguiti dalle ditte appaltatrici sotto la sua diretta sorveglianza nel corso delle operazioni di rilievo. Complessivamente sono stati collaudati 17.491 Km di linee di livellazione, quantità che rappresenta circa il 2% rispetto allo sviluppo totale della rete provinciale e che risulta in linea con la percentuale relativa al collaudo della rete complessiva. E' evidente quindi che i collaudi effettuati corrispondono ad una quantità percentualmente inferiore a quella prevista e ciò per i seguenti motivi. In considerazione della rete oggetto delle misurazioni eccezionalmente vasta, tale da farne un esempio senza precedenti, in accordo con la D.L. si è deciso di differire l'esecuzione della gran parte dei collaudi alla fine dei lavori di campagna in modo da poter far fronte alla ricerca di errori sulla chiusura dei poligoni, errori accertabili solo al termine delle operazioni di rilievo. Bisogna a tal proposito sottolineare che le Ditte avevano l'obbligo di ripetere gratuitamente solo il 7% del lavoro e che l'impegno inerente la ricerca di eventuali errori di chiusura dei poligoni essendo non prevedibile, vista l'eccezionalità delle misure, poteva risultare anche molto lungo e oneroso. Successivamente, il controllo delle chiusure dei poligoni ha rivelato un numero limitato di incongruenze risolte in parte a tavolino e in parte con verifiche e collaudi sul campo impegnando comunque una percentuale di collaudi molto limitata. I successivi controlli svolti dal DISTART in sede di calcolo e compensazione delle quote, come si vedrà più avanti, hanno ulteriormente messo in evidenza l'alta qualità delle misure eseguite.

### **4.2 COLLAUDO FINALE**

Il collaudo finale, svolto dalla D.L., ha comportato l'esame di tutta la documentazione fornita dalle ditte appaltatrici al fine di verificare:

- l'avvenuto rispetto di tutte le prescrizioni contenute nelle specifiche tecniche e, in particolare, il rispetto delle tolleranze;
- le risultanze del collaudo in corso d'opera.

Tutte le verifiche sopradette hanno dato esito positivo per cui tutti i lotti appaltati hanno superato il collaudo finale.

## **5. CALCOLO E COMPENSAZIONE DELLA RETE DI LIVELLAZIONE**

La fase di calcolo e di compensazione della rete provinciale è stata eseguita in blocco insieme alle misure relative alla rete regionale dando luogo, quindi, ad un unico output di quote compensate utilizzabile per successive operazioni di confronto e di elaborazione.

Prima di eseguire la compensazione generale della rete, sono state effettuate approfondite analisi dei dati rilevati con l'applicazione di test statistici ed il calcolo per lunghe linee dell'errore chilometrico in funzione delle differenze andata-ritorno. Tali analisi hanno messo in luce alcuni dati che potranno essere utili nella stesura di nuove specifiche tecniche per future ripetizioni delle misure, mentre gli errori chilometrici trovati sono risultati tutti inferiori al millimetro per chilometro di linea. Tutto ciò ha evidenziato con certezza la buona qualità e l'omogeneità dei dati e della loro organizzazione e ha permesso di procedere alla compensazione in blocco di tutta la rete attraverso il metodo delle osservazioni indirette, utilizzando un sistema di 3168 equazioni in 3030 incognite. A tal fine è stato necessario implementare un nuovo programma di compensazione dato l'elevatissimo numero di incognite presenti. Dalla compensazione si è potuto ricavare, come ci si aspettava, un errore chilometrico inferiore al millimetro, mentre gli scarti quadratici medi nelle quote dei punti (inferiori al centimetro anche per i punti più lontani dall'origine delle quote, ad esempio Piacenza o Cattolica) confermano ampiamente tale dato. Da tutto ciò si può affermare che le misure sono state effettuate nel rispetto delle specifiche tecniche e delle tolleranze e che i risultati rispondono appieno alle aspettative.

## 6. CONCLUSIONI

La rete provinciale istituita nel 1998 e perfezionata nel corso della fase di rilievo del 1999 si presenta come il raffittimento della rete regionale - di cui quindi conserva la struttura di base - ottenuto attraverso l'inserimento di linee di livellazione esistenti appartenenti alle reti del Comune di Bologna e dell'Autorità di Bacino e, laddove tali reti non erano presenti o non offrivano una copertura del territorio sufficiente, sono state istituite dalla stessa Provincia di Bologna diverse linee di livellazione *ex novo* procedendo alla materializzazione di appositi capisaldi a pomello su manufatti che dessero garanzie di stabilità.

Il rilievo della rete provinciale è stato eseguito contestualmente al rilievo della rete regionale nel periodo dal 23/8/99 al 11/11/99 e ciò al fine di ottimizzare le spese sia per quanto riguarda lo svolgimento di un'unica gara d'appalto, in questo caso europea, sia per quanto riguarda le quantità oggetto di misurazioni che, su uno sviluppo complessivo della rete provinciale di 1061 Km, vede una sovrapposizione con la rete regionale di 363 Km.

I rilievi sono stati effettuati sotto la Direzione Lavori dello Studio Tecnico Associato Scuderi & C. coadiuvato, per i controlli di campo, da tecnici della Provincia e del Comune di Bologna, di SEABO, di AMI e di ARPA.

Le verifiche e i collaudi sul campo e a tavolino effettuate dalla D.L. in collaborazione con ARPA, sia in corso d'opera che nella fase immediatamente successiva al rilievo, hanno dato esito positivo evidenziando l'avvenuto rispetto, da parte delle ditte appaltatrici, delle tolleranze imposte dalle specifiche tecniche sia sulle singole tratte che sulla chiusura dei poligoni. Un'ulteriore conferma della buona qualità delle misure eseguite la si è avuta al termine delle elaborazioni relative al calcolo e alla compensazione delle quote da parte del DISTART dell'Università di Bologna. Proprio quest'ultima fase si è protratta per un tempo più lungo del previsto, data la mole assolutamente inusuale dei dati da trattare che ha comportato l'implementazione di un nuovo software specifico che consentisse il trattamento in blocco di tutte le misure eseguite - rete provinciale e rete regionale. Al termine di quest'ultima fase è stato verificato un errore chilometrico inferiore al millimetro che soddisfa i requisiti dell'alta precisione rispondendo appieno alle aspettative.



## **APPENDICE**