

## PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE DEL MONITORAGGIO TOPOGRAFICO E GEOTECNICO DI UN NUOVO PLESSO RICETTIVO

### SCELTA DELLE ATTREZZATURE

Accurata è stata l'indagine di mercato finalizzata all'individuazione delle attrezzature che più soddisfacessero la precisione intrinseca richiesta nell'esecuzione delle misure di cui al piano di monitoraggio.

La scelta è ricaduta sulla seguente attrezzatura:

#### *Monitoraggio automatico topografico:*

- Ricevitori satellitari per monitoraggio
- Inclinatori biassiali di alta precisione
- Stazione informatizzata robotizzata automatica di altissima precisione
- Distanziometri industriali di alta precisione

#### *Monitoraggio manuale topografico:*

- Livello elettronico di precisione
- Stazione informatizzata robotizzata di altissima precisione

#### *Monitoraggio manuale geotecnico:*

- *Barrette estensimetriche a corda vibrante*
- *Sonda inclinometrica*
- *Celle di carico per tiranti*
- *Sonda per la misura di livello della falda*

### RETE DI INQUADRAMENTO:

Una rete d'inquadramento, costituita da quattro stazioni satellitari permanenti, è stata materializzata all'esterno del sito di realizzazione del NCCI su edifici la cui stabilità è stata accertata; la stazionabilità dei siti è stata preventivamente verificata attraverso la ricettività dei satelliti e la verifica dell'assenza d'interferenze sulle frequenze scelte per le comunicazioni dati interne al sistema di monitoraggio.



Installazione della rete GPS



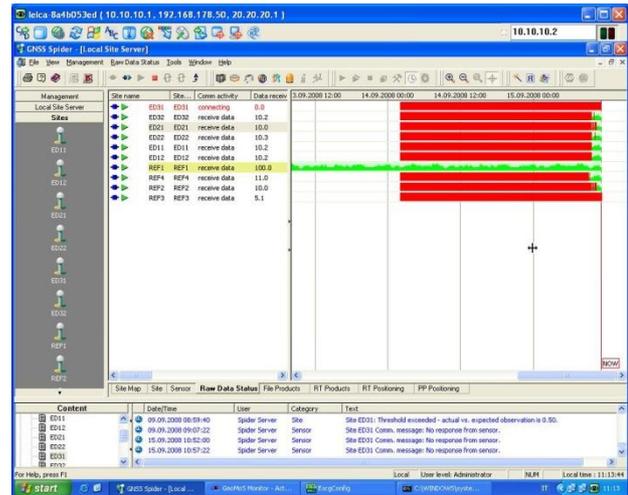
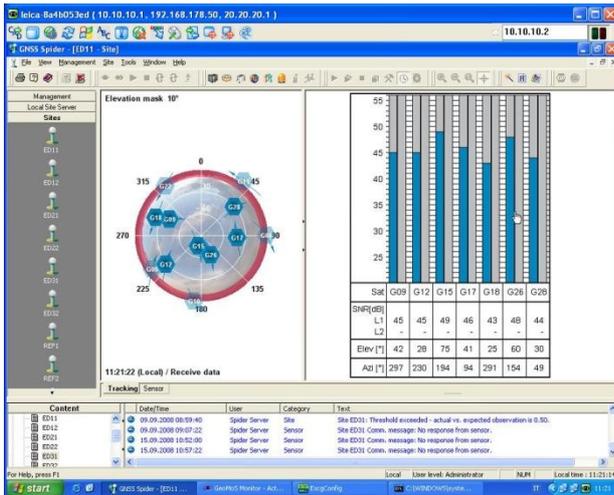
Stazione *MASTER* installata con apparati di comunicazione e computer industriali



Configurazione della rete dalla Stazione *MASTER*

Management	CO	File Loc.	Last Charge	Latitude	Longitude	Height	Distance	Product Name	Site Code	SelfSite Code
Local Site Server	0.0003	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 50.63031" N	12° 28' 24.35339" E	106.5973	0.311 km	ED11_MH_REP1	ED11	REF1
Sites	0.0002	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 51.56268" N	12° 28' 24.51395" E	106.5071	0.308 km	ED12_MH_REP1	ED12	REF1
	0.0003	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 49.64457" N	12° 28' 23.18383" E	104.2056	0.319 km	ED11_MH_REP1	ED11	REF1
	0.0004	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 49.94171" N	12° 28' 23.63678" E	104.2088	0.327 km	ED02_MH_REP1	ED02	REF1
	0.0002	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 47.74707" N	12° 28' 22.49517" E	101.6571	0.312 km	ED11_MH_REP1	ED11	REF1
	0.0002	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 48.38787" N	12° 28' 22.82672" E	101.6532	0.315 km	ED02_MH_REP1	ED02	REF1
	0.0003	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 29.62007" N	12° 28' 20.28770" E	110.0519	0.893 km	REP1_MH_REP2	REF2	REF1
	0.0003	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 59.57377" N	12° 28' 08.59816" E	105.7326	0.795 km	REP1_MH_REP2	REF2	REF1
	0.0002	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 50.14177" N	12° 28' 37.94211" E	113.3625	0.230 km	REP1_MH_REP4	REF4	REF1
	0.0003	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 48.28787" N	12° 28' 22.82699" E	101.6500	0.778 km	ED02_MH_REP2	ED02	REF2
	0.0003	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 47.74707" N	12° 28' 22.49516" E	101.6602	0.768 km	ED11_MH_REP2	ED11	REF2
	0.0004	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 49.94167" N	12° 28' 23.63705" E	104.2105	0.827 km	ED02_MH_REP2	ED02	REF2
	0.0003	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 49.54957" N	12° 28' 23.18380" E	104.2007	0.799 km	ED11_MH_REP2	ED11	REF2
	0.0003	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 51.04264" N	12° 28' 24.51364" E	106.5922	0.866 km	ED12_MH_REP2	ED12	REF2
	0.0003	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 50.63027" N	12° 28' 24.35366" E	106.6004	0.855 km	ED11_MH_REP2	ED11	REF2
	0.0003	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 50.14177" N	12° 28' 37.94166" E	113.3656	0.235 km	REP2_MH_REP4	REF4	REF2
	0.0004	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 59.57370" N	12° 28' 08.59841" E	105.7356	0.943 km	REP2_MH_REP3	REF3	REF2
	0.0004	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 48.28767" N	12° 28' 22.82687" E	101.6497	0.477 km	ED02_MH_REP3	ED02	REF3
	0.0003	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 47.74707" N	12° 28' 22.49502" E	101.6538	0.466 km	ED11_MH_REP3	ED11	REF3
	0.0005	0h	14.10.2008 01:59:55	41° 47' 49.94177" N	12° 28' 21.63603" E	104.1900	0.458 km	FP00_MH_REP3	FP00	REF3

Configurazione e gestione rete GPS



Configurazione e gestione rete GPS

Per la determinazione della posizione dei punti finalizzati al monitoraggio manuale, posti sugli edifici e sulla paratia, sono state definite postazioni per le stazioni robotizzate di altissima precisione costituite da pilastri opportunamente corredati da piastra a centramento forzato. Per ottimizzare l'intervisibilità tra le postazioni delle stazioni robotizzate e i punti da monitorare (mire fisse poste sulla paratia e sugli edifici) sono stati realizzati sei pilastri integrati, via via il progredire dei lavori di costruzione, da ulteriori tre.

La posizione di queste postazioni è stata definita e verificata nel tempo con metodologia satellitare.



Definizione GPS postazione stazione robotizzata



Stazione robotizzata di alta precisione

La rete d'inquadratura altimetrica è stata costituita da tre capisaldi di livellazione posti nei pressi di tre delle quattro postazioni permanenti facenti parte della rete d'inquadramento. I capisaldi sono stati materializzati con apposite borchie metalliche e/o da elemento toroidale secondo la tipologia di materializzazione, orizzontale o verticale.

## PUNTI DI CONTROLLO: monitoraggio edifici

Per assicurare un monitoraggio automatico continuo h 24 in tempo reale dell'eventuale cedimento delle fondazioni, del movimento verticale, di inclinazione e di torsione, sulla sommità di ogni uno degli edifici sono state materializzate: due stazioni permanenti satellitari e un inclinometro biassiale; per il monitoraggio di eventuali movimenti orizzontali del piede degli edifici sono stati opportunamente posizionati i distanziometri industriali.



Stazione ROVER su edificio da monitorare



Inclinometro biassiale su edificio

Ugualmente per ogni uno degli edifici, a completamento, sono state posizionate 4 mire fisse e 4 capisaldi di livellazione per l'esecuzione del monitoraggio topografico manuale.



Mira fissa su edificio



Mira fissa su paratia e target per distanziometro industriale

Le attrezzature di monitoraggio automatico sono state collegate in rete finalizzata, attraverso connessioni Wlan, per poterle gestire da remoto.

## PUNTI DI CONTROLLO: monitoraggio paratia

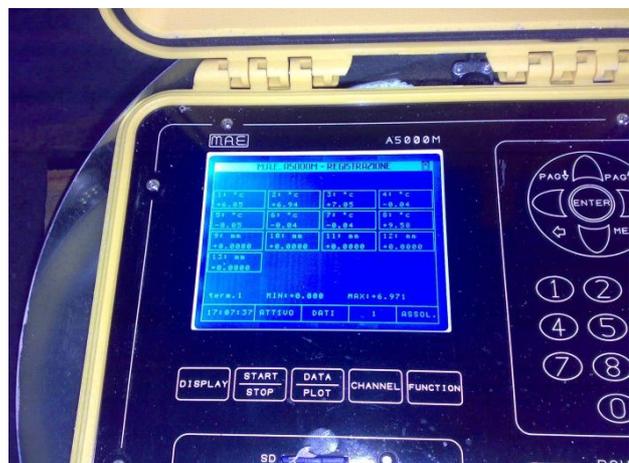
Come per il piede degli edifici, anche per il monitoraggio automatico della paratia, per la sua naturale giacitura, sono stati utilizzati i distanziometri industriali. Completano l'attrezzatura finalizzata al monitoraggio topografico manuale della paratia:

- le mire fisse costituite da mini prismi per monitoraggio (cedimenti orizzontali)
- i capisaldi di livellazione (cedimenti verticali)
- tubi iclinometrici annegati dentro e a tergo dei diaframmi (verifica movimenti orizzontali)
- barrette estensimetriche a corda vibrante collegate direttamente alle barre di armatura
- celle di pressione applicate ai tiranti per il monitoraggio di diminuzioni o aumento di tiro

La paratia è stata strumentata con celle di pressione, barrette estensimetriche e tubi inclinometrici in corrispondenza dei punti più sollecitati.



Monitoraggio automatico paratia con distanziometri industriali



Monitoraggio automatico paratia – postazione data logger



Barretta estensimetrica su ferro di armatura



Cella di pressione applicata su tirante

**PUNTI DI CONTROLLO:** monitoraggio della falda, della viabilità, dei servizi e sottoservizi e del terreno, superficiale e profondo posto all'intorno della paratia di contenimento.

Per la verifica della tenuta del livello dalla falda sono stati opportunamente predisposti i piezometri all'intorno e all'interno all'area del cantiere. Per regolamentare il flusso delle acque di falda, a monte della paratia, sono stati realizzati 3 pozzi opportunamente attrezzati per pompare l'acqua nel caso di eccessiva risalita e per restituirla poi, attraverso opportuno impianto, a valle della paratia. I pozzi sono stati considerati alla stessa stregua dei piezometri e monitorati con una maggiore frequenza rispetto a questi ultimi.



Monitoraggio altimetrico viabilità ed edifici

Per il monitoraggio della viabilità e del terreno all'intorno dell'area di cantiere sono stati materializzate sezioni di monitoraggio trasversali alla paratia costituite da inclinometri (verifica movimenti orizzontali) e/o assistimetri a 4 basi (verifica movimenti verticali profondi) e capisaldi di livellazione (verifica movimenti verticali superficiali). Le sezioni, opportunamente distribuite

all'intorno della paratia, sono state intensificate in corrispondenza degli edifici più a rischio e nei punti di maggiore sollecitazione della stessa paratia.



Monitoraggio viabilità e terreno superficiale e profondo -Assestimetro a 4 basi



Monitoraggio viabilità e terreno superficiale e profondo – tubo inclinometrico e caposaldo di livellazione

**PUNTI DI CONTROLLO:** monitoraggio fondo scavo.

Via via il progredire dello scavo delle fondazioni, al fine di verificare la risposta del terreno all'alleggerimento dovuto proprio allo scavo, sono state materializzate 8 postazioni di monitoraggio di cui 6 attrezzate con 1 assestimetro ad anelli e 2 piezometri a corda vibrante e, 2 attrezzate con 2 piezometri casagrande e 1 assestimetro ad anelli. Tutte le attrezzature sono state quotate prima di essere "lette" con operazione topografica di livellazione di precisione.

Per le necessità del monitoraggio, complessivamente sono state installate:

- 10 stazioni satellitari permanenti
- 3 inclinometri biassiali
- 9 postazioni per le stazioni informatizzate robotizzate
- 55 mire fisse
- 71 capisaldi di livellazione
- 29 tubi inclinometrici
- 18 assistimetri a 4 basi
- 18 barrette estensimetriche
- 12 celle di pressione dei tiranti
- 6 piezometri a tubo aperto
- 8 assistimetri ad anelli
- 16 piezometri a corda vibrante
- 4 piezometri casagrande

Tutti i punti di verifica e/o controllo del monitoraggio topografico, automatico e manuale, sono stati iperdeterminati e le misure compensate rigorosamente.



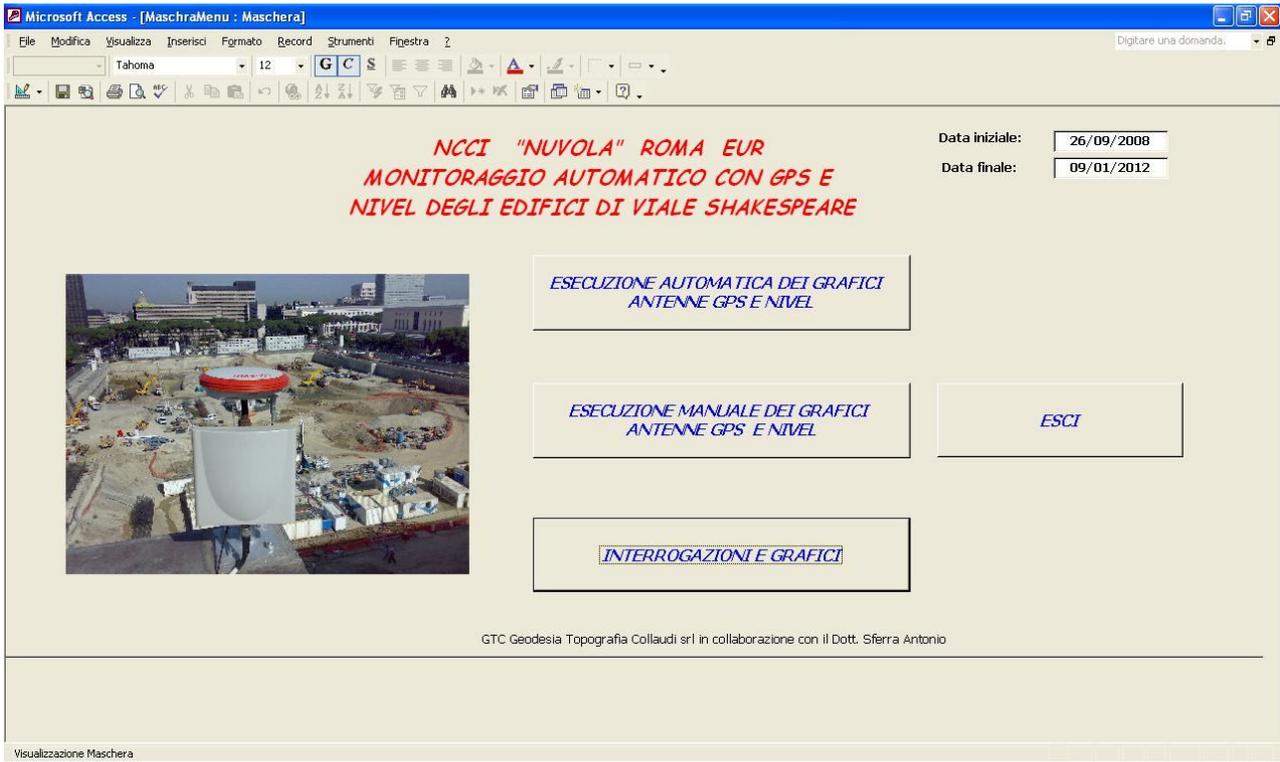
Stazioni di monitoraggio fondo scavo

## METODOLOGIE DI RILIEVO E DI CALCOLO

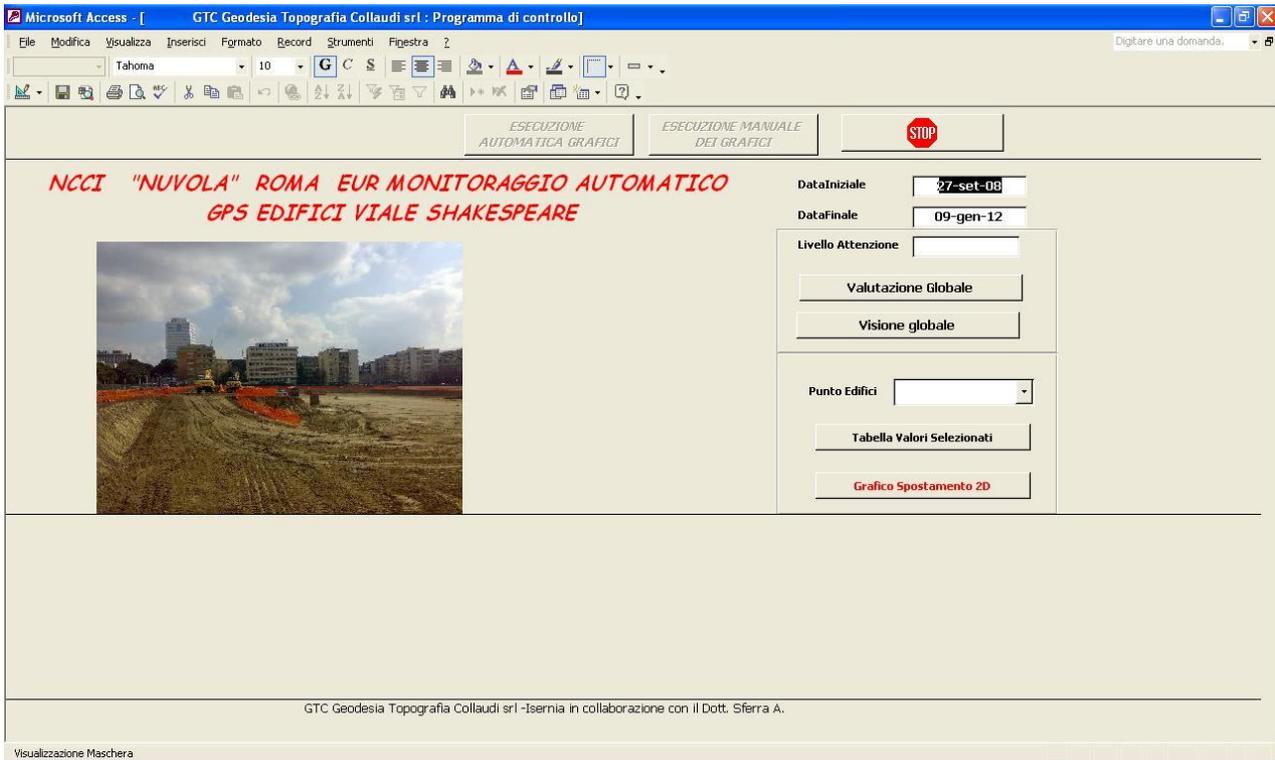
La metodologia di rilievo scelta per definire la posizione delle stazioni satellitari permanenti è stata quella comunemente denominata "*statica*"; l'inquadramento nella rete WGS84 è stato realizzato con il collegamento alla rete di riferimento satellitare nazionale definita dall'IGM nel 1995. Per la misura delle mire fisse è stata utilizzata la metodologia di rilievo per intersezione diretta.

Per l'elaborazione dei dati satellitari è stato utilizzato un software commerciale per gestire la "*post elaborazione*"; per gli "*avvisi*" di monitoraggio è stato utilizzato un software commerciale di gestione di "*navigazione*". Software proprietari sono stati invece utilizzati per la gestione dei dati e per la produzione dei grafici riepilogativi.

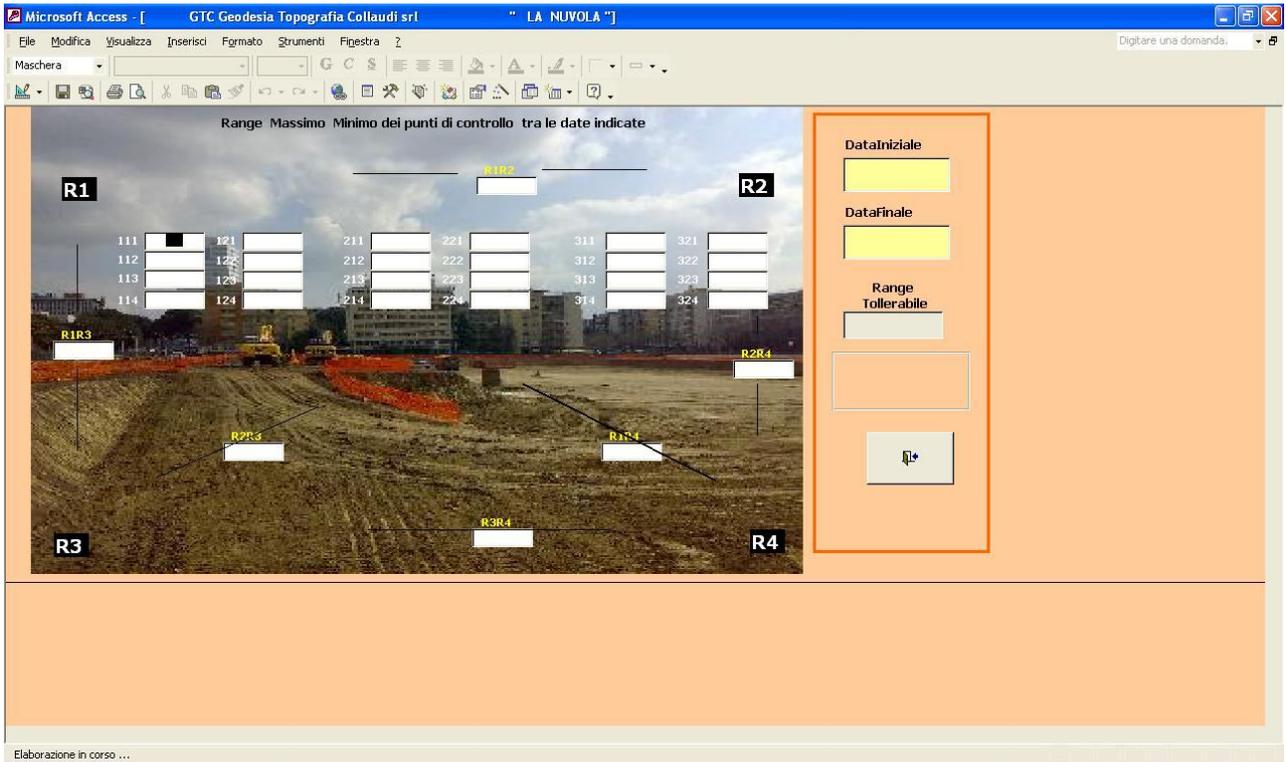
I dati di monitoraggio, automatico come pure per quelli manuali, sono stati processati con software dedicato di produzione proprietaria per la gestione dei tabulati riepilogativi e dei grafici.



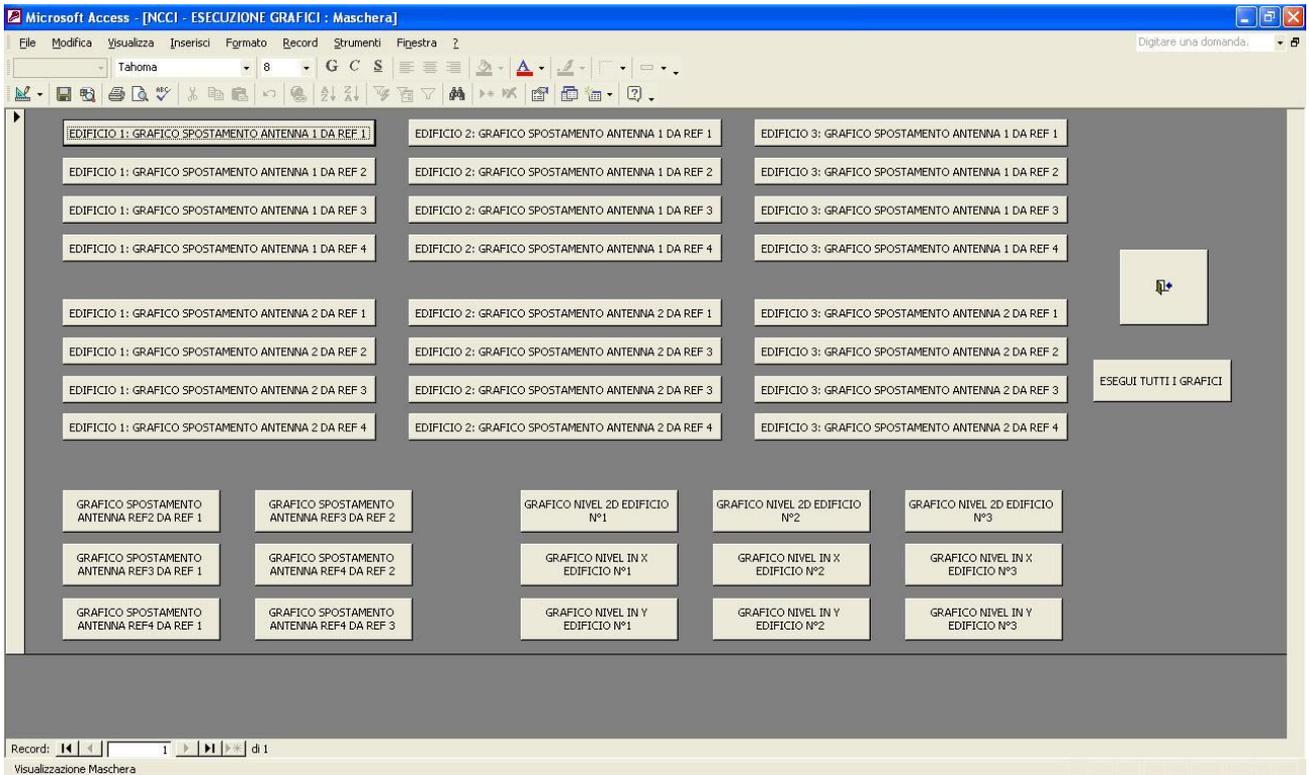
Schermate del programma appositamente realizzato per la gestione del monitoraggio topografico della "Nuvola"



Schermate del programma appositamente realizzato per la gestione del monitoraggio topografico della "Nuvola"



Schermate del programma appositamente realizzato per la gestione del monitoraggio topografico della "Nuvola"



Schermate del programma appositamente realizzato per la gestione del monitoraggio topografico della "Nuvola"

L'elaborazione dei dati di livellazione sono stati elaborati con software commerciale.

La rete di inquadramento planimetrica unitamente ai punti di controllo satellitari e agli inclinometri biassiali sono stati verificati quotidianamente; quella altimetrica è stata verificata con cadenza bisettimanale.

Esempi dei tabulati e dei grafici riepilogativi unitamente alle considerazioni e riflessioni che sono state fatte durante l'esecuzione del monitoraggio; le valutazioni e le decisioni prese via via l'avanzare dei lavori e le risposte avute dalle strutture di nuova realizzazione, come pure di quelle esistenti, saranno oggetto della 3<sup>a</sup> parte dell'articolo.



Avanzamento della costruzione della "Nuvola" al 27/12/2011