

COMMITTENTE



COMUNE DI PALERMO
AREA INFRASTRUTTURE E TERRITORIO

PROGETTISTA

ATI:



(Capogruppo Mandataria)



DOMINIQUE PERRAULT
ARCHITECTE

METROPOLITANA AUTOMATICA LEGGERA DELLA CITTA' DI
PALERMO
PRIMA LINEA
TRATTA FUNZIONALE ORETO/NOTARBARTOLO

PROGETTO PRELIMINARE

PIANO DI MONITORAGGIO
RELAZIONE SUL MONITORAGGIO

COMMESSA	FASE	COMPARTO	DOCUMENTO	REV	SCALA	NOME FILE
MPA1	PP	MNT	INRS01	1	-	MNT_INRS01_1.dwg

							PROGETTISTA
1	AGOSTO 2006	AGGIORNAMENTO DATA DI CONSEGNA E REVISIONE GENERALE	Silvestri	Pedrazzi	Cecchi/Di Nicola	Piscitelli	
0	MAGGIO 2006	EMISSIONE ELABORATI OPERE CIVILI	Silvestri	Pedrazzi	Cecchi/Di Nicola	Piscitelli	
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	AUTORIZZATO	



1 INTRODUZIONE

1.1 SCOPO DEL MONITORAGGIO

Nel presente documento si tratta dei criteri generali ai quali devono uniformarsi la progettazione, la realizzazione e la gestione del sistema di monitoraggio geotecnico e strutturale dedicato al controllo della realizzazione della Metropolitana Automatica Leggera della città di Palermo.

Il sistema di monitoraggio riguarderà le opere civili nelle fasi costruttive, ad ultimazione avvenuta ed in esercizio, nonché le strutture al loro contorno.

Esiste una differenza tra il monitoraggio in corso d'opera e quello in esercizio che non è solo cronologica ma sostanziale, come differenti tra loro sono i soggetti interessati alle due attività.

Il monitoraggio in corso d'opera mira a verificare la rispondenza delle situazioni reali costruttive ed ambientali alle ipotesi progettuali nonché a prevenire, innescando opportuni interventi correttivi, incontrollati sviluppi negativi riguardo alla sicurezza delle opere, del personale e del contesto urbano. Esso ha per attori l'Impresa costruttrice, la Direzione Lavori ed il Progettista, oltre naturalmente alla Stazione Appaltante.

Il monitoraggio in esercizio verifica la persistenza delle capacità prestazionali delle opere e vede come attore principale l'Ente Gestore dell'infrastruttura.

In corso d'opera il monitoraggio farà ricorso a letture con apparecchiature di acquisizione fisse e/o portatili ed alla trasmissione dei dati in sedi decentrate (cantieri, pozzi e stazioni in costruzione) per la raccolta, l'elaborazione e la gestione dei risultati delle misure effettuate. I medesimi dati confluiranno in una corposa banca dati in un unico Centro di Elaborazione Dati (CED) che raccoglierà tutti i dati dell'opera. Anche in esercizio, nell'eventualità che si ritenga necessario mantenere in funzione il sistema di controllo, i risultati delle misure effettuate nelle stazioni periferiche dovranno pervenire, via cavo o via radio-modem, ad un Centro di Elaborazione Dati (CED).

Obiettivo generale del monitoraggio in corso d'opera è quello di verificare la corrispondenza tra il comportamento reale del terreno e della struttura in esso inserita con il comportamento ipotizzato e calcolato nelle varie fasi progettuali, in considerazione anche dell'influenza dell'opera sulle aree superficiali circostanti. Tale verifica è quindi finalizzata a valutare gli andamenti dei vari parametri misurati in relazione alle fasi costruttive, alle tecniche scelte e alle geometrie in gioco.

Il sistema di monitoraggio deve essere, inoltre, finalizzato alla sicurezza di chi lavora e dei residenti nelle aree prossime alle opere da realizzare, nonché alla salvaguardia delle preesistenze: fabbricati, collettori fognari, condotte idriche e del gas, ecc.. Quest'ultimo obiettivo, poi, diventa prioritario ed il più esigente se i fabbricati hanno particolare pregio storico-artistico-monumentale.

Per cogliere tutte le finalità sopraesposte sarà necessario monitorare i fabbricati, il terreno e le strutture già eseguite.

Il primo problema che si presenta in sede di progettazione di dettaglio del piano di monitoraggio è la definizione del bacino di subsidenza prodotto dagli scavi per la determinazione dell'area che dovrà essere interessata dal piano stesso.

Di ausilio importante per tale studio è inoltre l'analisi dello stato di consistenza degli edifici interessati dall'opera e di eventuali effetti di subsidenza già presenti negli ultimi anni nella

	Metropolitana automatica Leggera della città di Palermo. Prima linea Tratta funzionale Oreto-Notarbartolo.
	Relazione sul monitoraggio

zona di Palermo; per tale studio potranno essere, ad esempio, impiegate tecniche di analisi satellitare basate su sistemi SAR.

Il calcolo dell'estensione del bacino di subsidenza indotta dai lavori dell'opera richiede una preventiva assunzione del cedimento minimo che può determinare danni sulle preesistenze: tale valore non è un valore costante ma dipende dalla sensibilità degli edifici alla subsidenza, in particolare per i fabbricati che presentino interesse storico o artistico questo valore potrà essere molto basso, dell'ordine anche di pochi millimetri.

Le curve di subsidenza previste per una galleria e per due gallerie affiancate sono riportate nell'apposita "Relazione tecnica sui cedimenti lungo la linea", allegata al progetto. All'interno del bacino di subsidenza calcolato s'individuano nelle future fasi progettuali tutte le preesistenze ed in particolare tutti quei fabbricati che dovranno essere monitorati.

I fabbricati sono stati soggetti anche ad un'indagine preventiva, al fine di giungere ad una classificazione dei fabbricati in base ad un indice di vulnerabilità, che ha permesso di individuare i fabbricati maggiormente sensibili ai fenomeni di subsidenza. Detti fabbricati potranno essere oggetto di un "monitoraggio speciale", che si differenzierà dal "monitoraggio ordinario" per una maggiore completezza della strumentazione installata.

L'indagine sui fabbricati giudicati sensibili potrà prevedere anche una ricerca storica dei cedimenti o dei sollevamenti delle zone della città, al fine di prestare maggior attenzione a zone della città che già hanno presentato storicamente fenomeni di subsidenza naturale indipendentemente dalla costruzione delle gallerie della metropolitana.

Di seguito sono illustrati i criteri generali di un piano di monitoraggio adeguato agli scopi espressi, la strumentazione da porre in opera, e le applicazioni per diversi casi di fabbricati, di terreno e per le diverse tipologie strutturali in progetto.

1.2 METODOLOGIA DI MISURA E GRANDEZZE MONITORATE

La metodologia consiste nell'osservare e valutare alcuni parametri che riguardano le perturbazioni indotte nel terreno e le deformazioni che la stessa opera subisce; tali parametri, legati alle interazioni tra la nuova struttura e il terreno, sono costituiti prevalentemente da:

- deformazioni che si determinano sulla superficie topografica altamente urbanizzata;
- deformazioni del terreno, sia nell'immediato intorno delle gallerie, sia nei diversi strati tra la superficie topografica e lo stesso cavo;
- variazioni tenso-deformative delle strutture, in relazione alle diverse componenti costruttive e geometriche;
- variazioni dei livelli idrici o della superficie piezometrica nel terreno.

Si prevede che tutte le tipologie di opere civili, le loro componenti strutturali ed il loro contorno saranno sottoposte a controlli ed all'attività di monitoraggio, e cioè:

- per le gallerie di linea saranno monitorati i rivestimenti definitivi in conci prefabbricati; sarà monitorato il piano campagna sovrastante ed il terreno interposto tra la galleria e la superficie;
- per i pozzi e per le stazioni saranno posti sotto osservazione il terreno, il piano campagna, i rivestimenti provvisori e quelli definitivi;
- per tutte le restanti opere saranno monitorati i fabbricati ad esse adiacenti.

	Metropolitana automatica Leggera della città di Palermo. Prima linea Tratta funzionale Oreto-Notarbartolo.
	Relazione sul monitoraggio

2 CRITERI DI PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

I principali criteri di progettazione dei vari componenti di un sistema di monitoraggio, a partire dai sensori e fino ad arrivare ai sistemi di acquisizione possono riassumersi in:

- tipo di grandezza da misurare e precisione della misura in funzione dell'obiettivo del monitoraggio;
- uniformità di segnale elettrico in ingresso ed in uscita e facilità nei cablaggi elettrici, uniformità nel tipo di cavo e nei collegamenti, presenza di protezioni elettriche e meccaniche, minimo ingombro dei cavi e dei cablaggi;
- tempi e vincoli di installazione, in relazione alle fasi costruttive dell'opera;
- identificazione immediata del singolo sensore e facilità di misura;
- facilità di manutenzione dei possibili componenti del sistema di monitoraggio;
- affidabilità del sistema, sia del singolo componente, sia dell'intera struttura;
- ridondanza delle misure, sia per assicurare l'affidabilità del sistema, sia per garantire la qualità del singolo dato;
- tempistica nell'esecuzione della misura correlata alle principali attività costruttive, elasticità nell'utilizzo e nell'interpretazione dei singoli dati provenienti dai sensori in campo;
- modalità univoca e quanto più rappresentativa possibile rispetto all'architettura del sistema, per quanto riguarda l'archiviazione e la presentazione dei dati.

La predisposizione della strumentazione di monitoraggio sul terreno e sulle preesistenze, nonché le relative letture di zero devono sempre anticipare le fasi costruttive delle opere civili.

Per ogni sensore installato è sempre di grande importanza, per una migliore elaborazione successiva e garanzia d'affidabilità del sistema, la conoscenza di una lettura di zero antecedente all'inizio dei lavori.

L'installazione degli strumenti deve essere sempre preceduta dalla localizzazione di possibili interferenze con i sottoservizi, i manufatti interrati, i cavidotti e le emergenze archeologiche, nell'ottica della loro conservazione.

Particolare attenzione dovrà essere posta nell'installazione e nella localizzazione della strumentazione di monitoraggio nella prima tratta prevista nel cronoprogramma dei lavori. La strumentazione ivi prevista costituirà, infatti, l'elemento cruciale per la verifica dei modelli di calcolo che hanno guidato la distribuzione degli strumenti in tutta l'opera, servirà da taratura per l'intero sistema di monitoraggio e permetterà di correggere eventuali errori commessi nell'elaborazione del progetto esecutivo del monitoraggio aumentando, modificando o diminuendo le quantità degli strumenti previsti.

	Metropolitana automatica Leggera della città di Palermo. Prima linea Tratta funzionale Oreto-Notarbartolo.
	Relazione sul monitoraggio

3 ARCHITETTURA DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

3.1 PRINCIPI DEL SISTEMA

In dipendenza della tipologia di strumentazione di cui si prevede l'utilizzo, s'individuano tre principali ambiti d'intervento nei quali è distribuito il sistema di monitoraggio:

- 1) Gallerie di linea
Il monitoraggio è finalizzato alla verifica dello stato tenso-deformativo della struttura in relazione al terreno in cui essa è collocata, e all'indagine della deformazione del terreno stesso indotta dalla realizzazione delle gallerie naturali.
- 2) Pozzi e stazioni
Il monitoraggio è finalizzato alla verifica dello stato tenso-deformativo delle strutture in relazione al terreno con cui interagiscono; il monitoraggio delle stazioni può comprendere situazioni particolari a seconda delle caratteristiche realizzative di ciascuna stazione.
- 3) Superficie topografica ed edifici
Il sistema di monitoraggio interessa prevalentemente gli edifici e le loro fondazioni, e le altre opere d'arte preesistenti. I cedimenti degli edifici e dei manufatti ubicati nell'area di subsidenza indotta dallo scavo delle gallerie sono da attribuirsi a movimenti a livello delle fondazioni degli edifici stessi e alle deformazioni dei terreni su cui le fondazioni sono situate.

Particolare attenzione sarà quindi posta alle fondazioni degli edifici e ai loro eventuali movimenti, sia in termini di rotazioni che di spostamenti verticali assoluti. In tali ambiti i parametri da monitorare sono di tipo statico (deformazioni, rotazioni, spostamenti, forze, ecc.) e/o di tipo dinamico (misura delle vibrazioni).

Per l'acquisizione delle misure di tutti i parametri di monitoraggio, distribuiti su un territorio molto vasto come nel caso in esame, è necessario disporre di diversi sistemi di acquisizione dati, ciascuno con funzionalità autonome e in grado di pre-elaborare i dati acquisiti secondo opportuni software, così da fornire ad un CED (Centro Elaborazione Dati) centralizzato i dati già filtrati, affidabili e fra loro confrontabili.

Tale primo processo d'elaborazione dei dati si rende indispensabile per una migliore applicazione dei modelli interpretativi, e per ottenere misure direttamente fruibili in tempo reale, così da avere un controllo ottimale delle attività di cantiere. In particolare un primo filtraggio dei dati finalizzato all'eliminazione di dati non plausibili dal punto di vista elettrico dovrà essere completamente automatizzata, al fine di non dover mai impegnare un operatore per vagliare dati che siano al di fuori del fondo scala dei sensori, e di non condizionare in alcun modo i modelli di controllo delle soglie di attenzione e di allarme.

Tutte le elaborazioni relative al monitoraggio, cioè la tipologia dei sensori, gli stessi tempi d'installazione, le ubicazioni, le caratteristiche ed i manuali d'uso della strumentazione, il tipo di cablaggio e di collegamento eseguito, tutte le misure effettuate (sia direttamente in campo tramite operatori specializzati sia con sistema di acquisizione automatico centralizzato), nonché i tempi e le diverse fasi di avanzamento delle opere civili, le caratteristiche geologico-geotecniche dei terreni attraversati, le caratteristiche strutturali dell'opera, saranno tutte informazioni raccolte in un Data Base georeferenziato presso un unico Centro Elaborazione Dati (CED).

La banca dati e tutti i diagrammi dovranno essere disponibili in tempo reale attraverso

	Metropolitana automatica Leggera della città di Palermo. Prima linea Tratta funzionale Oreto-Notarbartolo.
	Relazione sul monitoraggio

interfacce di rete realizzate appositamente. Allo scopo di rendere facilmente leggibili ed interpretabili i dati ottenuti, occorre, per ciascuno degli ambiti monitorati, individuare uno o più *volumi di controllo* e disporre, per ciascuno di essi, opportuni modelli di comportamento messi a punto preventivamente e realizzati in forma numerica mediante specifici software.

Tali volumi di controllo possono racchiudere sia le strutture in costruzione (gallerie, pozzi, ecc.), sia quelle esistenti (fabbricati, ecc.), e sia il terreno fra loro compreso. Ciò potrà consentire l'interpretazione globale del volume di controllo mediante un'analisi comparativa di tutte le misure effettuate con il modello numerico predisposto.

Inoltre sarà possibile tenere conto anche delle variazioni dei parametri misurati rispetto alle *schede di censimento degli edifici* preparate preventivamente lungo linea. Le schede di censimento sono costituite dall'insieme delle misure e/o informazioni atte ad individuare in modo esaustivo le condizioni di un fabbricato o di un'opera d'arte prima dell'inizio delle attività di cantiere. A completamento delle schede di censimento è raccomandata l'archiviazione delle informazioni su eventuali movimenti delle zone interessate dai lavori dell'opera durante gli ultimi anni, al fine di individuare spostamenti indipendenti dalla costruzione dell'opera e con lo scopo di curare con maggior attenzione zone che dovessero risultare già soggette a movimenti.

Saranno impiegati modelli matematici elaborati per ogni singolo gruppo di misure riguardanti lo stesso fenomeno (tali raggruppamenti di sensori dovranno essere già stati studiati e decisi prima dell'inizio dei lavori), in funzione di fissate soglie di "*attenzione*" e di "*allarme*", che serviranno a valutare la necessità di azioni correttive nelle modalità di realizzazione delle opere in questione.

Nell'ambito di ciascun'opera il monitoraggio deve risultare operativo fin da prima dell'inizio dei lavori, in modo da risultare pronto per l'acquisizione automatica dei dati che dovranno essere trasmessi (e riportati in tempo reale) alla postazione presidiata ubicata in cantiere, e anche per disporre delle misure di "zero" di ciascuno strumento.

Si prevede, in linea del tutto generale, di realizzare i collegamenti per mezzo di un cavo idoneo alla trasmissione dei dati alloggiato in appositi condotti interrati; in alternativa, laddove la logistica non lo consenta per la presenza dei sottoservizi, il collegamento potrà avvenire tramite radio-modem.

Nella postazione presidiata, dove saranno ricevuti i dati in tempo reale, saranno effettuate le seguenti operazioni:

- saranno vagliati e filtrati i dati ricevuti dai sensori elettrici collegati, in modo che tutte le variazioni misurate siano riconducibili univocamente a reali comportamenti del terreno e delle strutture (eliminazione di dati non plausibili);
- saranno comparati e vagliati i dati confrontando misure di canali ad alto grado di correlazione fra loro; i gruppi di sensori saranno decisi in fase realizzativa dall'Appaltatore ed approvati dalla Direzione Lavori (DL), e già pronti in fase di lettura, anche se riprogrammabili in ogni istante;
- saranno fissati preventivamente i valori di "soglia" relativi ai vari parametri misurati, automaticamente il sistema evidenzierà il superamento di tali soglie (di *attenzione* e di *allarme*) da parte di qualunque gruppo di sensori elettrici collegati;
- il superamento della soglia di attenzione da parte di qualche sensore collegato verrà immediatamente ed automaticamente evidenziato sia all'interno della stessa postazione presidiata, sia, ad esempio, sulla postazione di manovra della TBM, dove saranno presenti degli analoghi indicatori di superamento delle soglie prefissate.

Una volta evidenziato il superamento di una soglia di "*attenzione*" l'evoluzione delle variazioni

	Metropolitana automatica Leggera della città di Palermo. Prima linea Tratta funzionale Oreto-Notarbartolo.
	Relazione sul monitoraggio

misurate viene visualizzata ed osservata con continuità da parte dei tecnici presenti nella postazione presidiata; vengono contestualmente avvisati sia la Direzione di Cantiere dell'Impresa, sia la DL che i Progettisti.

3.2 IL FLUSSO DEI DATI

Tutti i segnali provenienti dai sensori di tipo elettrico dovranno essere raccolti e centralizzati in un unico Centro di Elaborazione Dati (CED).

Il sistema automatico d'acquisizione dati sarà composto da diversi moduli elettronici, ognuno con una propria funzione, organizzati secondo un'architettura a più livelli.

Per una corretta progettazione bisogna tener conto delle ubicazioni delle sezioni strumentate, del tipo di collegamento tra i moduli, della tipologia di scambio del segnale e di quali grandezze si desidera monitorare.

Si possono identificare 4 livelli principali nell'architettura del flusso dei dati, a partire dai sensori fino ad arrivare alla banca dati centrale sita nel CED (v. fig 3.1):

LIVELLO I - comprende l'insieme dei trasduttori elettrici, sia quelli posizionati all'interno dello scavo sia quelli in superficie, suddivisi per sezione strumentata, e che nel tempo convertono un cambiamento fisico in un corrispondente segnale elettrico. Il segnale in uscita può essere trasmesso via cavo oppure attraverso sistemi wireless al secondo livello. Nel primo caso i dati fluiranno attraverso cavi bi o multipolari schermati, mentre nel secondo caso si sfrutterà la comunicazione wireless del tipo radio, bluetooth, wi-fi. La scelta dipenderà dalle distanze che si devono ricoprire e dalle caratteristiche del percorso tra trasmettitore e ricevitore.

LIVELLO II - a questo livello si trovano le Unità di Acquisizione Dati (UAD) periferiche, la cui funzione è quella di raccogliere, memorizzare in locale e digitalizzare le misure; si tratta di moduli elettronici che possono essere allocati in armadi (apparecchiature fisse) e/o in valigie dotate di pressacavi (apparecchiature mobili). Ogni UAD controlla, in linea di principio, un'intera sezione strumentata di dimensioni anche considerevoli (fino a circa 100 canali). Le UAD dovranno prevedere multiplexer per la raccolta dei segnali dai sensori. Le UAD possono essere collegate tra loro e ai moduli di livello superiore con o senza cavo trasmettendo dati in formato digitale. La trasmissione dati tra il secondo e il terzo livello può avvenire con o senza l'impiego di cavi. L'utilizzo di fibra ottica o cavi digitali è sempre possibile, così come l'impiego di onde radio, GSM, GPRS o UMTS per trasportare il segnale al terzo livello.

LIVELLO III - tale livello è caratterizzato dal centro di raccolta dati periferico. Esso si compone essenzialmente di un potente server atto alla gestione e memorizzazione dei dati di un'intera area di cantiere (stazione o tratta). Il PC ha il compito di interrogare e scaricare i dati da un certo numero di UAD ad esso collegate, di verificarne il regolare funzionamento e di individuare guasti o anomalie di singoli sensori, di intere UAD o di intere linee di comunicazione. Il server dovrà dunque disporre di una capacità di memoria adeguata a gestire lo scarico (e quindi le diverse linee e protocolli di comunicazione) e la memorizzazione di una gran mole di dati. Ogni server è dotato, inoltre, di un adeguato gruppo di continuità e di stabilizzazione, per fronteggiare eventuali anomalie nell'alimentazione della rete elettrica. A tale livello dovranno essere già presenti i software di rappresentazione grafica dei dati, i filtri e i modelli matematici per l'azionamento delle soglie d'attenzione e d'allarme, al fine di rendere efficace il monitoraggio già nelle sedi decentrate. In particolare il server dovrà essere dotato di un'interfaccia utente semplice che consenta la diagrammazione in tempo reale di tutti i dati di cantiere, anche sovrapponendo diagrammi di più sensori. Inoltre dovrà essere garantita

un'interfaccia web dei dati di cantiere in modo da poter accedere in tempo reale da postazioni remote alla banca dati.

LIVELLO IV - rappresenta il livello più alto da cui si gestisce tutto il sistema di monitoraggio, ed è rappresentato dal Centro di Elaborazione Dati (CED) che è connesso a tutti i moduli di terzo livello mediante collegamenti con o senza cavi. Il CED sarà costituito da un Server di prestazioni superiori, atto alla gestione del sistema nel suo complesso. Ad esso giungono tutti i dati provenienti dall'intero sistema sensoristico installato, il CED dovrà essere in grado di gestire tutti i collegamenti tra i vari livelli e di disporre di una banca dati di tutte le misure eseguite.

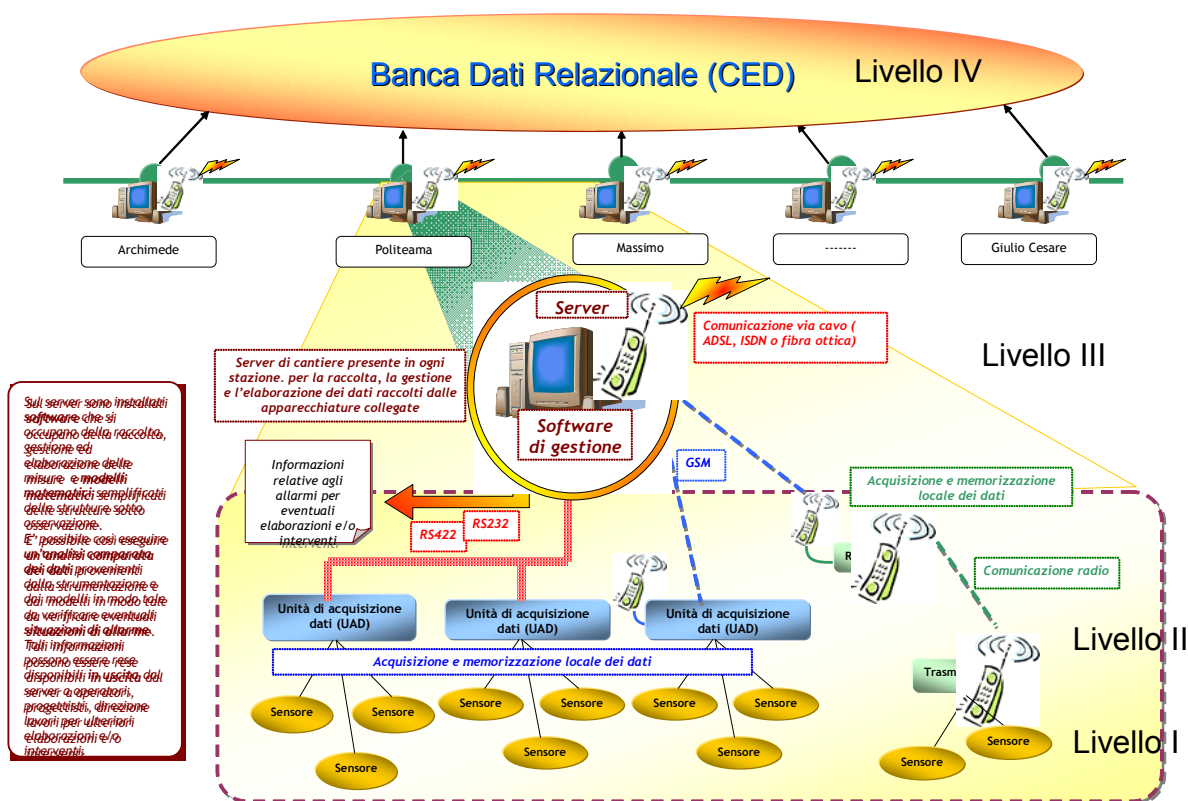


Figura 3.1: Schema del flusso dei dati

Il CED si preoccuperà di garantire l'uniformità e la consistenza della banca dati generale con le banche dati dei server dislocati nei vari cantieri (workstation di livello III). Da esso si effettuerà l'aggiornamento ciclico della banca dati, nonché l'elaborazione, la visualizzazione, la stampa e l'archiviazione dei dati.

Dal CED si dovranno poter effettuare tutte le operazioni che sarebbero effettuabili anche ai livelli inferiori, fino al cambio della singola costante di elaborazione del singolo sensore. Dai livelli inferiori si dovrà poter effettuare qualsiasi operazione senza compromettere l'integrità e l'uniformità delle diverse banche dati.

L'intero sistema di monitoraggio organizzato secondo l'architettura a livelli appena descritta, dovrà essere in grado di eseguire le seguenti funzioni:

- gestire, attraverso le diverse unità, l'intero processo di acquisizione dei dati, impartendo comandi ai vari moduli in campo per l'esecuzione delle misure;
- deve essere configurato e riconfigurabile dall'utente per quanto riguarda il numero di unità

di acquisizione collegate, il numero ed il tipo di sensori posti in opera, la frequenza di misure eseguite;

- archiviare su memoria non volatile tutti i dati acquisiti;
- trasformare in unità ingegneristiche le misure eseguite dalla strumentazione, sia mediante conversioni di tipo lineare che conversioni tramite algoritmi di tipo non lineare;
- deve essere dotato di possibilità di collegamenti locali e remoti con PC, tramite connessioni con cavo o senza cavo.

L'architettura del sistema deve essere tale che, nel caso di manutenzioni di una o più unità d'acquisizione, il dialogo tra il server e le unità d'acquisizione avvenga senza alcun'interferenza e perdita d'informazioni.

Il software di gestione sarà di specifica implementazione, sarà realizzato in base alle caratteristiche dell'impianto, deve essere in grado di controllare ogni singola fase e garantire la sicurezza e la gestione degli stati d'allarme. Il software dovrà permettere un'intuitiva "navigazione" all'interno dei cantieri, e una ricerca dei dati e dei sensori veloce ed immediata.

Il software dovrà fornire automaticamente diagrammi e tabelle di tutti i sensori aggiornati all'ultima acquisizione effettuata, e dovrà prevedere un tool di segnalazione evidente di livelli di attenzione o di allarme presenti.

Un possibile schema di gestione dei segnali d'allarme (con comunicazione al posto di manovra della TBM del superamento delle soglie) è raffigurato schematicamente nella figura 3.2.

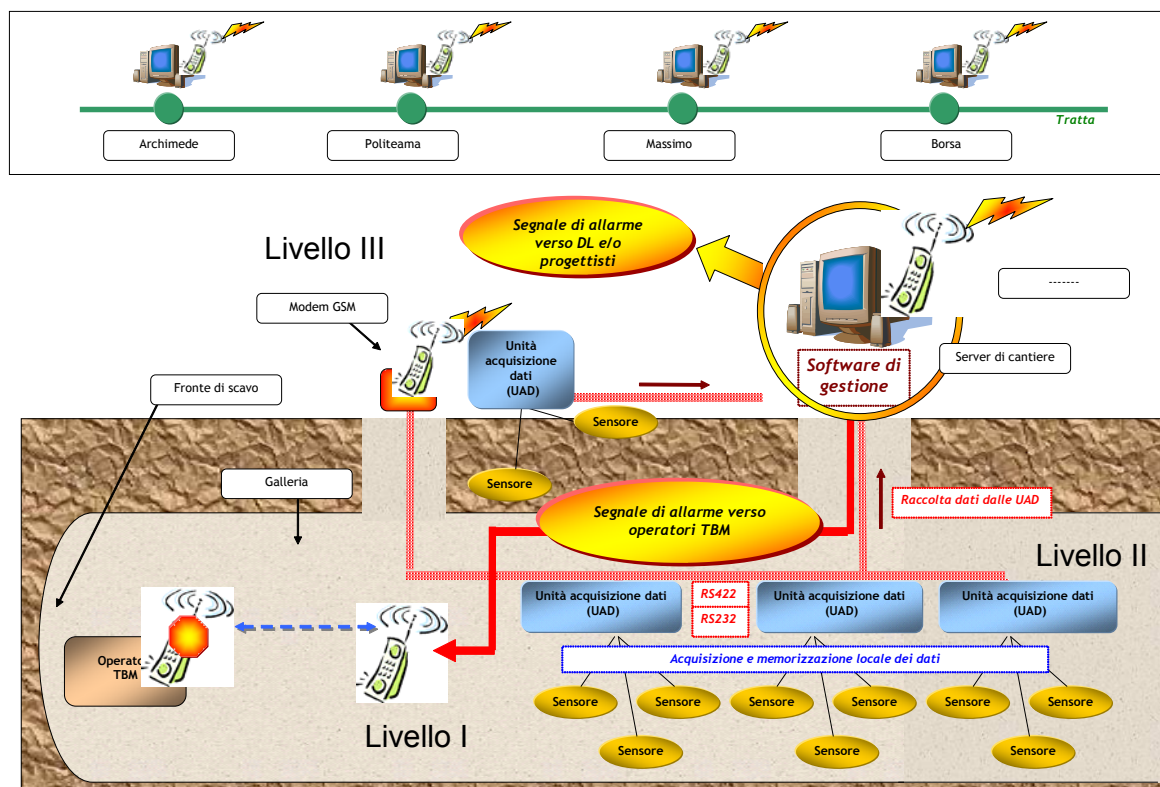


Figura 3.2: Schema di gestione dei segnali di attenzione e di allarme

	Metropolitana automatica Leggera della città di Palermo. Prima linea Tratta funzionale Oreto-Notarbartolo.
	Relazione sul monitoraggio

4 MODALITA' D'ACQUISIZIONE E FREQUENZE DI MISURA

Si prevede di automatizzare tutte le misure per le quali ne è prevista la possibilità, questa scelta è dettata dalla complessità e dalla mole di misure previste nonché dalla migliore affidabilità e oggettività del dato automatico rispetto a quello fornito da una misura manuale.

Per quanto riguarda le frequenze di misura si prevede per tutte le misure (automatiche e manuali) di distinguere due distinte fasi di lettura, cui corrispondono differenti frequenze:

- 1) Il punto di misura si trova in un'area distante meno di 50 m dai lavori (scavo a cielo aperto per pozzo o stazione, passaggio della TBM per la realizzazione delle gallerie di linea, ecc.). In questo caso si dovranno prevedere letture con cadenze perlomeno giornaliere.
- 2) Il punto di misura si trova in un'area distante più di 50 m dai lavori (scavo a cielo aperto per pozzo o stazione, passaggio della TBM per la realizzazione delle gallerie di linea, ecc.). In questo caso si dovranno prevedere letture con cadenze maggiori di un giorno, da intensificarsi solo al verificarsi di problematiche particolari.

	Metropolitana automatica Leggera della città di Palermo. Prima linea Tratta funzionale Oreto-Notarbartolo.
	Relazione sul monitoraggio

5 DISTRIBUZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Il sistema di monitoraggio si suddivide in tre ambiti d'applicazione principali, ed in particolare:

1) Gallerie di linea

Si prevede l'adozione di sezioni strumentate una ogni 200÷300 m lineari di galleria con un minimo di 3 stazioni per tratta, con la posa in opera di conci prefabbricati strumentati installati durante le fasi d'avanzamento.

Subito a valle dei sensori saranno installate, per ogni sezione, le unità di acquisizione dati, collegate tra loro con un cavo "dorsale" che trasmette i segnali in digitale fino alla prima unità di raccolta e gestione dati (Workstation o Server). In corrispondenza di ogni stazione sarà individuato un apposito locale in cui sarà collocata l'unità di raccolta e gestione dei dati (Workstation o Server).

Compatibilmente con le preesistenze in superficie, le stesse sezioni sono dotate di strumentazione per monitorare dall'esterno i parametri di deformazione del terreno (misure inclinometriche, piezometriche, assestimentriche e topografiche).

2) Pozzi e stazioni:

Si prevede l'adozione di sezioni strumentate a diverse profondità all'interno dei pozzi e delle stazioni, mentre in superficie saranno monitorati i parametri di deformazione del terreno (misure inclinometriche, piezometriche, assestimentriche e topografiche).

Dove possibile sarà prevista l'installazione di verticali inclinometriche all'interno dei pali a protezione dello scavo dei pozzi, al fine di misurarne le deformazioni in fase di scavo.

3) Superficie topografica ed edifici:

Il sistema del monitoraggio all'esterno, a seconda dell'oggetto, sarà organizzato in tre macrogruppi:

- *Sezioni di controllo*, trasversali all'asse di scavo, da adottarsi dove la situazione delle preesistenze in superficie e/o della rete viaria lo consenta. La larghezza delle sezioni di controllo dipende dall'entità dei cedimenti della superficie attesi (subsidenza per lo scavo di gallerie e pozzi); esse si estendono sino a 15÷20 m oltre la coppia di linee di isocedimento limite stabilite (ad es. pari a 5 mm).
- *Fabbricati ordinari*: il monitoraggio è finalizzato al controllo degli abbassamenti assoluti e differenziali delle preesistenze edilizie comprese nella fascia di subsidenza significativa (estesa una decina di metri oltre le linee di isocedimento pari ad es. a 5 mm) dovuta alla costruzione delle opere della metropolitana.
- *Fabbricati speciali*: il monitoraggio prende in considerazione una più ampia gamma di fenomeni rispetto a quello dei fabbricati del punto precedente, perché è finalizzato anche alla verifica dello stato di sollecitazione e dell'eventuale degrado correlabile alla variazione delle condizioni al contorno a causa della realizzazione delle opere. Il controllo sarà rivolto prevalentemente al livello delle fondazioni, se poi saranno riscontrati movimenti significativi allora si procederà ad intensificare il monitoraggio topografico in superficie. Per questi particolari edifici sarà redatto un progetto apposito, di cui un esempio è dato nei disegni allegati al progetto.

	Metropolitana automatica Leggera della città di Palermo. Prima linea Tratta funzionale Oreto-Notarbartolo.
	Relazione sul monitoraggio

5.1 GALLERIE DI LINEA E DI STAZIONE

Il progetto prevede di eseguire gli scavi per le gallerie di linea e di stazione in prevalenza con la metodologia dello scavo meccanizzato con scudo (TBM).

Le principali problematiche che si possono riscontrare durante lo scavo di una galleria rispecchiano queste tre categorie di comportamento del cavo e riguardano:

- *la verifica delle convergenze del cavo sul rivestimento definitivo della galleria;*
- *la verifica dello stato tenso-deformativo della struttura dovuto alle sue interazioni con il terreno circostante;*
- *il controllo della subsidenza che può essere indotta in superficie in concomitanza con le fasi di avanzamento dello scavo;*
- *la verifica e il controllo delle variazioni della superficie piezometrica e dei livelli idrici presenti nei terreni oggetto di scavo.*

I parametri quindi da misurare sono le convergenze sul rivestimento definitivo, le deformazioni dell'ammasso all'intorno del cavo, lo stato tensionale della galleria, l'eventuale subsidenza in superficie ed infine le variazioni di livello della superficie piezometrica.

A tale monitoraggio si affianca quello proprio della TBM, che deve essere dotata di un proprio sistema d'acquisizione dei parametri di scavo, con registrazione e restituzione dei dati principali relativi al suo funzionamento ed al suo comportamento durante lo scavo. Tali dati sono parte integrante del sistema generale di controllo in corso d'opera, e devono essere analizzati in parallelo a quelli derivanti dal monitoraggio descritto in questa relazione.

5.2 POZZI E STAZIONI

Entrambi i tipi di opere sono tipologicamente simili, trattandosi per la loro parte prevalente di manufatti realizzati dopo uno scavo all'aperto sostenuto da paratie, con solo alcune appendici scavate a foro cieco.

Per quanto riguarda lo scavo dei pozzi e delle stazioni in genere, le principali problematiche che si possono riscontrare riguardano prevalentemente:

- *la verifica della presenza e delle variazioni della superficie piezometrica o dei livelli idrici presenti nel sottosuolo;*
- *le verifiche sulla stabilità dei fabbricati adiacenti alle aree di scavo;*
- *la verifica dello stato tenso-deformativo della struttura e dell'ammasso e delle relative interazioni.*

I parametri da misurare, quindi, riguardano prevalentemente tutti i possibili cedimenti o eventuali subsidenze del terreno o del piano campagna intorno allo scavo, lo stato tensionale nell'ammasso e nella struttura, la presenza e la profondità di un'unica falda idrica sotterranea o di più livelli idrici.

La strumentazione superficiale (assestimetri, inclinometri, piezometri e capisaldi topografici) e quella interna alle strutture (mire ottiche e barrette estensimetriche), può cambiare in quantità e modalità di disposizione, in funzione delle dimensioni dell'opera e dell'importanza delle interferenze con le preesistenze, cioè in funzione delle necessità specifiche.

All'interno dei pali a protezione dello scavo dei pozzi, ove possibile, saranno installate verticali inclinometriche al fine di misurare le deformazioni delle strutture.

	Metropolitana automatica Leggera della città di Palermo. Prima linea Tratta funzionale Oreto-Notarbartolo.
	Relazione sul monitoraggio

Sono da prevedere preventive schede di censimento dei fabbricati per le strutture presenti in superficie, oltre ad un'analisi della presenza di movimenti verticali antecedenti i lavori attraverso, ad esempio, l'impiego di archivi d'immagini satellitari.

5.3 SUPERFICIE TOPOGRAFICA E EDIFICI

5.3.1 Sezioni di controllo

Il monitoraggio sulla superficie topografica si svilupperà, come detto, attraverso sezioni di controllo trasversali alla linea, ognuna delle quali avrà uno sviluppo in senso longitudinale alla linea di qualche decina di metri.

La quantità delle sezioni di controllo, intesa come numero e posizione, dipende dalla distribuzione planimetrica dei fabbricati in superficie, dalla loro distanza dalla linea della metropolitana, dai cedimenti presunti nelle singole tratte e nella disponibilità degli spazi liberi in superficie.

L'estensione in larghezza di ogni singola stazione di controllo dipende quindi dall'entità dei cedimenti attesi e dalla forma della curva di subsidenza. In particolare vanno innanzitutto definiti il valore del cedimento limite (ad es. 5 mm) e della posizione delle curve di isocedimento relative a quel valore. La larghezza della sezione di controllo, che dipenderà dall'entità dei preventivati cedimenti della superficie (subsidenza per lo scavo di gallerie e pozzi), si estenderà su ciascun lato per 15÷20 m oltre le linee d'isocedimento stabilite.

Un maggior numero di stazioni di controllo saranno ubicate in prossimità della partenza delle TBM (nel primo tratto di Via Oreto), e potranno essere utilizzate per tarare al meglio i parametri operativi delle TBM per le procedure di scavo delle gallerie.

Normalmente ogni stazione di controllo sarà attrezzata per il rilievo dei cedimenti della superficie topografica sia con misure topografiche tradizionali (capisaldi) che con rilevazioni speciali (assestimetri e inclinometri) e del livello della falda (piezometri). Altra strumentazione geotecnica potrà essere presente in relazione ai fabbricati esistenti e/o alle opere da eseguire facendo parte dei relativi sistemi di monitoraggio.

In linea di massima i capisaldi topografici si troveranno allineati in direzione trasversale rispetto alla linea. In corrispondenza dei fabbricati "a monitoraggio speciale" si utilizzeranno assestimetri a base lunga in sostituzione o in aggiunta ai capisaldi topografici.

5.3.2 Fabbricati

In linea di principio dovranno essere monitorati i fabbricati compresi nel bacino di subsidenza indotto dallo scavo delle gallerie, delle stazioni e dei pozzi per i quali sono attesi cedimenti superiori a quelli tollerabili dalle strutture degli edifici.

Le attività di monitoraggio dei fabbricati e della superficie topografica devono iniziare ancor prima dell'avvio delle opere civili.

5.3.2.1 Fabbricati ordinari

Su tutti i fabbricati "normali" ricadenti nella fascia di cedimenti significativa del bacino di subsidenza (estesa una decina di metri oltre le linee di isocedimento pari a 5 mm) saranno posizionate mire ottiche e mensole reggistadia per il controllo di eventuali cedimenti assoluti e differenziali.

Le mire, accoppiate alle mensole, saranno posizionate in corrispondenza di vertici significativi della pianta della struttura e nel caso di facciate non particolarmente estese, a distanza tra

	Metropolitana automatica Leggera della città di Palermo. Prima linea Tratta funzionale Oreto-Notarbartolo.
	Relazione sul monitoraggio

loro non superiore ai 20-30 m, in corrispondenza di un'unica quota.

Nel caso di presenza di lesioni sulle murature saranno posti in opera a cavallo delle stesse misuratori di apertura di giunti.

Per quanto presente nei vari fabbricati sono da prevedersi schede di censimento da realizzarsi prima ancora della redazione del progetto esecutivo del monitoraggio, in modo da poterlo opportunamente modulare e se necessario potenziarne il relativo sistema risultante.

5.3.2.2 Fabbricati speciali

Per quanto riguarda i fabbricati "a monitoraggio speciale" adiacenti alla costruenda linea metropolitana, le condizioni dei quali destano o potrebbero destare particolari preoccupazioni, le principali problematiche che si possono riscontrare riguardano:

- *la verifica del comportamento deformativo dei terreni di fondazione interessati dagli scavi in sotterraneo;*
- *la verifica degli eventuali cedimenti differenziali dei fabbricati, legati ai cedimenti delle fondazioni;*
- *il controllo delle eventuali lesioni sulle opere, createsi in occasione dei lavori o già pre-esistenti;*
- *il controllo delle vibrazioni in fase di avvicinamento degli scavi in rapporto a quelle di fondo ante-operam.*

I parametri da misurare, quindi, riguardano prevalentemente i cedimenti del terreno in adiacenza alle fondazioni del fabbricato, le eventuali subsidenze della superficie topografica, i cedimenti differenziali che il fabbricato potrebbe subire, gli allargamenti o i restringimenti delle lesioni presenti ed il livello delle vibrazioni oltre la soglia di fondo.

Ove ritenuto necessario potrà essere previsto l'impiego di elettrolivelle di precisione che consentano di controllare i movimenti delle strutture portanti interne agli edifici, assumendo come riferimento i movimenti assoluti delle strutture portanti esterne già monitorate con basi assestometriche. In tal modo si otterrà un monitoraggio automatico degli eventuali cedimenti differenziali.

Il controllo delle vibrazioni indotte dalle fasi di avanzamento degli scavi dovrà essere previsto in casi eccezionali, ad esempio nel caso di edifici di particolare interesse storico-artistico-monumentale o nel caso di edifici particolarmente sensibili.

La strumentazione dovrà essere scelta e posizionata secondo le indicazioni delle varie norme nazionali e internazionali (ISO, UNI, DIN, EN, BS), così come la valutazione dei fenomeni vibratorii e dei relativi effetti sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica.

Nell'ottica di prevenire danni alle opere d'arte esistenti e allarme tra i cittadini, il sistema di monitoraggio dinamico è, quindi, finalizzato alla valutazione delle caratteristiche delle vibrazioni, sia per quanto riguarda l'eccitazione (attività di scavo) che per quanto riguarda la risposta delle strutture monitorate; e alla verifica dei livelli di vibrazione misurati sulle strutture (edifici, opere d'arte, ecc.) con un confronto con i valori indicati dalle normative di riferimento.

Ogni acquirente dinamico, dunque, dovrà consentire di rilevare e memorizzare le microvibrazioni trasmesse attraverso il terreno nel punto d'installazione, lungo tre direzioni ortogonali tra loro. Le misure dovranno essere eseguite con congruo anticipo (almeno un mese) rispetto al locale avvio dei lavori, per tararle e poter filtrare i "disturbi ambientali di fondo" (ad es. dovuti al traffico veicolare).

6 PROGETTO DELLE SEZIONI STRUMENTATE

Il sistema di monitoraggio si suddivide come già detto in tre ambiti di applicazione, ed in particolare:

- 1) Gallerie di linea
- 2) Pozzi e stazioni
- 3) Superficie topografica ed edifici

6.1 GALLERIE DI LINEA

Si prevede l'adozione di sezioni strumentate una ogni 200-300 m lineari di galleria con un minimo di 3 stazioni per tratta, con la posa in opera di strumentazione all'interno delle singole canne di scavo attraverso l'impiego di conci prefabbricati strumentati, durante le fasi di avanzamento dello scavo.

I conci strumentati prevedono l'installazione di n. 4 barrette estensimetriche per calcestruzzo per concio, per la misura delle tensioni anulari del rivestimento.

Compatibilmente con le preesistenze in superficie, le stesse sezioni saranno dotate di strumentazione per monitorare dall'esterno i parametri di deformazione del terreno (misure inclinometriche, piezometriche, assestimetriche e topografiche).

Si prevede in particolare l'installazione di n. 3 assestimetri multibase disposti rispettivamente 2 ai lati delle canne e uno al centro; di n. 2 tubi inclinometrici in prossimità delle basi assestimetriche ai lati delle canne e di un piezometro in prossimità dell'assestometro centrale. In corrispondenza delle medesime sezioni si prevede la presenza di un allineamento di almeno n. 5 capisaldi topografici per il controllo del piano campagna.

In caso di presenza di edifici a monitoraggio speciale nelle vicinanze, si potrà prevedere la sostituzione di alcuni assestimetri con quelli già previsti per il monitoraggio dei fabbricati.

Un modello schematico del monitoraggio delle gallerie di linea è riportato nel disegno "Monitoraggio della tratta e galleria tipologica" allegato al progetto preliminare.

6.2 POZZI D'INTERTRATTA E STAZIONI

Si prevede l'adozione di sezioni strumentate a diverse profondità all'interno dei pozzi e delle stazioni, mentre in superficie saranno monitorati i parametri di deformazione del terreno (misure inclinometriche, piezometriche, assestimetriche e topografiche).

In particolare si prevede di installare barrette estensimetriche per calcestruzzo nelle strutture provvisorie e definitive dei pozzi di intertratta, oltre a n. 2 piezometri per il controllo della falda (uno lato monte e uno lato mare), n. 1 inclinometro e n. 1 assestometro (v. disegno "Monitoraggio pozzi di intertratta").

Per quanto concerne il monitoraggio delle stazioni, si prevede in linea di principio una serie di sezioni strumentate a diverse profondità con barrette estensimetriche per calcestruzzo per il controllo dello stato tensionale nei diaframmi e nelle solette intermedie e, compatibilmente con le preesistenze in superficie, una serie di strumenti per il controllo delle deformazioni del terreno dall'esterno.



Un modello schematico del monitoraggio delle stazioni tipo è riportato nel disegno “Monitoraggio della stazione tipologica” allegato al progetto preliminare. Inoltre per tutte le stazioni si è provveduto alla redazione di uno schema di dettaglio del monitoraggio (v. “Monitoraggio delle stazioni – Progetto dettagliato”).

La strumentazione di superficie sarà composta generalmente da assestimetri multibase, piezometri, tubi inclinometrici e capisaldi topografici. Per ciascuna stazione si prevede di impiegare gruppi di misura composti da n. 1 assestometro multibase, n. 1 tubo inclinometrico e n. 1 caposaldo topografico (in numero totale di 6 / 10 gruppi per stazione), e n. 2 piezometri per il controllo della falda (uno lato monte e uno lato mare). Ove possibile si dovrà far coincidere la strumentazione per il controllo superficiale delle opere stazioni o pozzi di intertratta con la strumentazione per il monitoraggio di eventuali edifici “a monitoraggio speciale” presenti nelle adiacenze dell’opera.

Un caso particolare è costituito dalla stazione di Borsa; essa infatti si situa in corrispondenza dei paleoalvei del Kemonia e del Papireto, ovvero di terreni potenzialmente molto deformabili. In questo caso si dovranno prevedere numerose sezioni strumentate che controllino costantemente tutta la zona della Stazione e delle zone adiacenti in un raggio di ca. 100 m. Nella stessa zona della Stazione Borsa si prevede di installare più di 10 piezometri addizionali, per il controllo del livello della falda (v. dis. .”Monitoraggio speciale zona Borsa”).

6.3 SUPERFICIE TOPOGRAFICA ED EDIFICI

A partire dalle schede di censimento dei fabbricati occorrerà identificare gli edifici sensibili interessati dai lavori. Dovranno essere individuati con congruo anticipo rispetto all’inizio dei lavori tutti i fabbricati che richiedano quindi un monitoraggio speciale

Di ausilio importante per tale studio sarà un’accurata analisi dello stato attuale degli edifici interessati dall’opera e di eventuali effetti di subsidenza già presenti negli ultimi anni nella zona di Palermo, per tale studio potranno essere, ad esempio, impiegate tecniche di analisi satellitare basate su sistemi SAR.

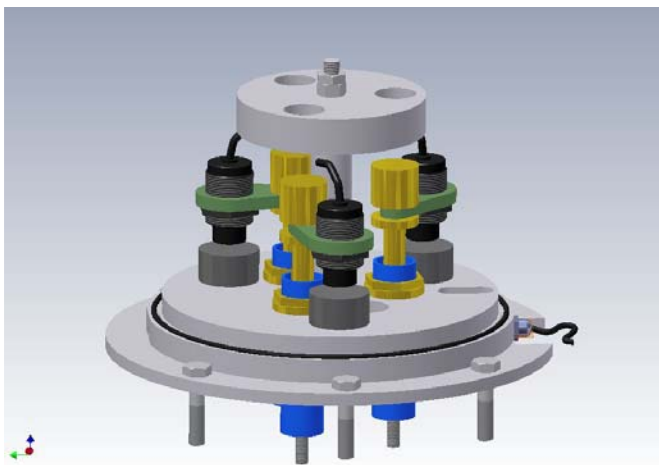
Il monitoraggio speciale completa le misure topografiche eseguite su tutti i manufatti nelle adiacenze dei lavori con strumentazione assestimetrica per un controllo più dettagliato dei cedimenti verticali delle fondazioni dei fabbricati, e tubazioni inclinometriche per la misura di eventuali rotazioni.

Se ritenuto necessario potranno essere monitorati cedimenti differenziali dei manufatti attraverso l’impiego di elettrolivelle di precisione le cui misure vanno sempre riferite alle misure assolute delle basi assestimetriche.

7 DESCRIZIONE E CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE

La strumentazione geotecnica di cui si può prevedere l'uso dipende dai parametri che si vogliono porre sotto osservazione, caso per caso; può essere suddivisa in strumentazione esterna e strumentazione interna allo scavo, e prevalentemente risulta essere composta da:

- Assestimetri multibase** con barre in metallo e tubazione esterna rigida e distanziali anti-frizione, posti in adiacenza alle tubazioni inclinometriche, per la misura degli eventuali spostamenti verticali all'interno del terreno; e posti in corrispondenza delle strutture portanti degli edifici "a monitoraggio speciale" per controllare i movimenti verticali delle fondazioni. La precisione richiesta, data l'importanza della misura, è dell'ordine del centesimo di millimetro. Gli assestimetri serviranno ad effettuare misure assolute degli spostamenti verticali della superficie o dei fabbricati; per effettuare correttamente la misura sarà necessario predisporre la base più profonda in modo tale che il suo ancoraggio risulti fisso, per questo la profondità si prevede, anche in virtù dei profili di realizzazione dell'opera, all'incirca pari a 40 m sotto il piano campagna. Vengono in questo caso sconsigliate tutte le tipologie di assestimetri con base in fibra di vetro che prevedono che le tubazioni di protezione di tutte le basi non siano rigide e/o indeformabili. Infatti ci si troverebbe di fronte a strumenti che funzionano caricati in punta senza possibilità di abbattere in modo significativo gli attriti, soprattutto di primo distacco.

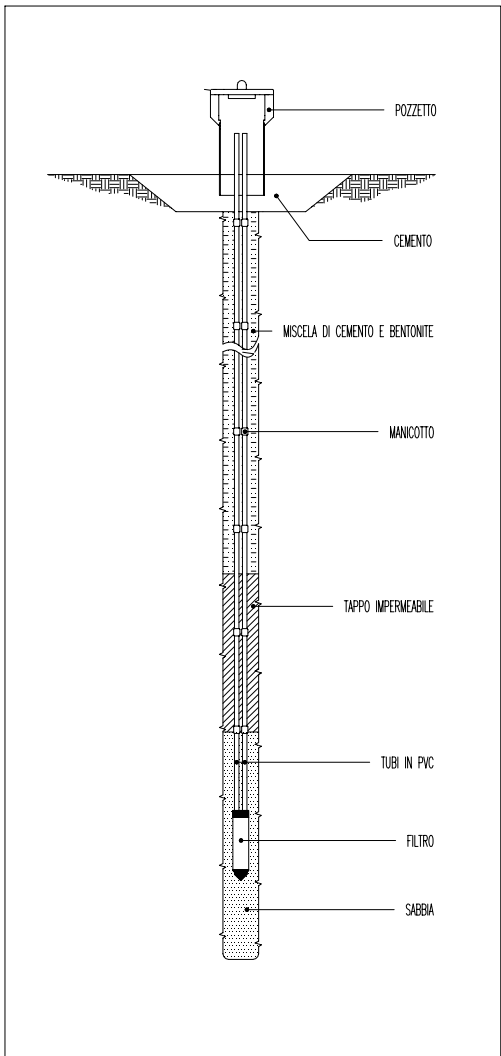
CARATTERISTICHE TECNICHE E DISEGNO		
Corsa meccanica	8÷50 mm (fino a 200 mm dopo ripresa)	Disegno Testa a 3 Basi 
Tipo:	Trasduttore di tipo induttivo senza contatto	
Campo di misura:	Campo lungo ± 25 mm Campo medio ± 10 mm Campo corto ± 4 mm	
Sensibilità:	0.01 mm	
Alimentazione:	9 ÷ 30 V dc	
Uscita:	4 ÷ 20 mA	
Grado di protezione:	IP68	
Temperatura	-20° ÷ +50°C	

	Metropolitana automatica Leggera della città di Palermo. Prima linea Tratta funzionale Oreto-Notarbartolo.
	Relazione sul monitoraggio

- Tubi inclinometrici** con possibilità di essere equipaggiati con sonde fisse, posti in opera dall'esterno delle gallerie, dalla superficie topografica, per la misura degli eventuali spostamenti orizzontali del terreno e rotazioni del terreno di fondazione dei fabbricati interessati dall'opera.
 Le misure inclinometriche sono particolarmente sensibili alla temperatura, bisognerà prevedere algoritmi di compensazione automatica delle misure che epurino le stesse da qualsiasi effetto termico.
 Dovrà essere previsto in ogni centro di raccolta ed elaborazioni dati (livello III del flusso dati) un software in grado di fornire in tempo reale, attraverso l'impiego di modelli ad interpolazione polinomiale o analoghi, il calcolo della deformata a partire dai dati delle sonde fisse.

CARATTERISTICHE TECNICHE E SCHEMA DI INSTALLAZIONE		
Tipologia di sensore	Elettrolitico	
Campo di misura	$\pm 15^\circ$	
Non linearità	$< 0.1\% (\pm 1,5^\circ)$	
Deriva in temp. dello zero	$0.002^\circ/\text{FS}/\text{C}^\circ$	
Deriva in temp. della sensibilità	$0.005^\circ/\text{FS}/\text{C}^\circ$	
Uscita	$\pm 2,5 \text{ V}$	
Tensione di alimentazione	da 5 a 24 V dc	
Corrente di alimentazione	$< 5\text{mA}$	

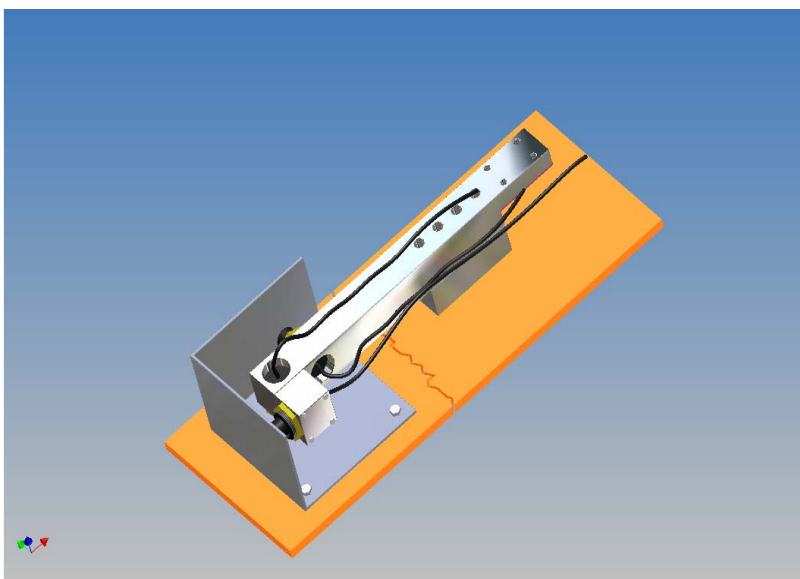
- Piezometri elettrici e di tipo Casagrande**, ubicati in posizione adiacente alle tubazioni assestimentriche ed inclinometriche, soprattutto in prossimità dei lavori per la realizzazione delle stazioni, per la misura delle variazioni dei regimi di falda.
 Il controllo della falda acquifera è cruciale nella zona della stazione Borsa che si trova alla confluenza dei paleoalvei del Kemonia e del Papireto, tutta l'area della stazione e le immediate adiacenze saranno monitorate con l'impiego di più piezometri disposti secondo un progetto realizzato ad hoc.

CARATTERISTICHE TECNICHE E SCHEMA DI INSTALLAZIONE		
Dimensione Filtro	$\varnothing 41 \div 54$ mm Lunghezza $150 \div 200$ mm	Schema di installazione cella Casagrande 
Composizione Filtro	Agglomerato di silice, bronzi e acciai inox sinterizzati, ceramiche	
Porosità Standard	$5 - 60 \mu$	
Permeabilità	10^{-2} cm/sec	
Tubazione di accesso	$\varnothing 15 \div 50$ mm	
Materiale delle tubazioni	PVC, acciaio, polietilene, nylon	

- **Elettrolivelle**, da installarsi negli edifici “a monitoraggio speciale” laddove ritenuto necessario; le aste di misura, non più corte di 2 m, dovranno essere poste tra strutture portanti degli edifici esterne già monitorate con basi assestometriche e le strutture portanti interne di interesse al fine di misurare eventuali cedimenti differenziali. La misura con elettrolivelle richiede una particolare attenzione nella realizzazione dei supporti, che non devono in alcun modo influenzare la misura ma essere assolutamente solidali alla struttura sotto controllo.

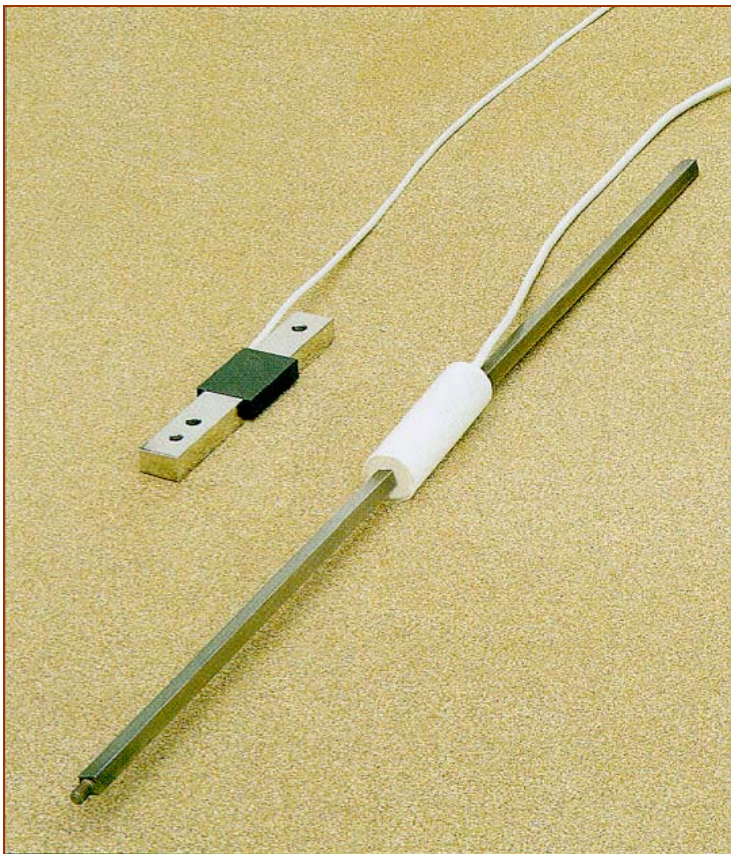
CARATTERISTICHE TECNICHE E FOTO		
Tipo di sensore	Elettrolitico o potenziometrico	
Campo di misura	$\pm 1^\circ$ (± 60 arc minuti)	
Precisione	$1/3600^\circ$ (1 arc sec)	
Uscita	$4 \div 20$ mA	
Temperatura di esercizio	$-20^\circ \div +50^\circ\text{C}$	

- **Misuratori di apertura dei giunti** con sensore di tipo induttivo senza contatto e senza necessità di manutenzione, autocompensati in temperatura da porre in opera a cavallo delle eventuali fessure nelle murature (già esistenti o formatesi durante il corso dei lavori), anche in funzione di quanto emerso dalle schede di censimento degli edifici.

CARATTERISTICHE TECNICHE E DISEGNO		
Corsa meccanica totale	70 mm	
Tipo	Trasduttore senza contatto induttivo	
Range di misura	(campo corto) Tipica ± 2.5 mm (± 4 mm linearizzata)	
Alimentazione	9 ÷ 30 V dc	
Uscita	4 ÷ 20 mA	
Precisione	0.01 mm	
Grado di protezione	IP65	
Temperatura	-20° ÷ +50°C	

- **Mire ottiche e sistemi di controllo topografico** installati sui fabbricati; maglia di capisaldi topografici sul piano campagna, correlati a più capisaldi esterni al bacino delle subsidenze e quindi da ritenere fissi, per la verifica degli eventuali cedimenti della superficie topografica. Anche ogni boccaforo relativo ai piezometri, agli assestimetri ed ai tubi inclinometrici dovrà essere dotato di un caposaldo topografico; in questo modo tutte le misure effettuate sulle strumentazioni potranno essere correlate a quote topografiche e le misure topografiche alle misure assestimetriche ed inclinometriche; tutto ciò al fine di poter accorpate gruppi di canali che misurino effetti differenti del medesimo fenomeno indotto per poter programmare soglie d'attenzione e d'allarme più affidabili. Sistemi di controllo geodetico automatico, da utilizzare in casi di particolare delicatezza come per le opere di valore storico-artistico interessate dal tracciato della linea; il sistema si sviluppa a partire da dei capisaldi noti e fissi, ubicati in aree al di fuori dell'influenza dell'opera sulla superficie topografica da cui vengono traggurati automaticamente punti di misura individuati mediante prismi ottici posizionati sulle strutture in elevazione.

- **Barrette estensimetriche per metallo e per calcestruzzo**, poste in opera sull'anima delle centine utilizzate per alcuni scavi o all'interno dei calcestruzzi, per la misura delle tensioni instauratesi sulle strutture e installate all'interno dei conci per la misura delle tensioni anulari.

CARATTERISTICHE TECNICHE E FOTO		
Impedenza del ponte estensimetrico	350 ohm	
Campo di misura	3250 $\mu\epsilon$	
Alimentazione	2 -15 V dc/ac	
Materiale	Acciaio	
Grado di protezione	IP68	
Uscita nominale	2 mV/V	
Temperatura di esercizio	-20 + 70 °C	
Carico a fondo scala	1000 kg	



- **Apparecchiature di misura**, dovranno essere compatti e moderni dispositivi elettronici, adattabili ad essere fissi o portatili. Controllati da micro-processori e adatti in tutti i casi in cui le particolari condizioni ambientali o di installazione richiedono l'utilizzo di apparecchiature dal funzionamento affidabile e completamente autonomo, anche per lunghi periodi di tempo. Caratteristica principale sarà quella di avere un bassissimo consumo intrinseco. Tutta la parte elettronica di acquisizione e memorizzazione dovrà essere normalmente disalimentata e l'attivazione delle varie funzioni sarà effettuata solo in corrispondenza del momento e della frequenza di acquisizione impostate. Il sistema sarà dotato di un convertitore analogico/digitale ad almeno ± 20000 punti.

Il recupero dei dati memorizzati dovrà poter essere effettuato in almeno queste modalità:

- mediante Personal Computer portatile collegato attraverso linea RS232;
- collegamento permanente a Computer situato presso un Centro Raccolta Dati;
- mediante sostituzione periodica del modulo di memoria (Scheda PCMCIA o simili) e successiva lettura dei dati contenuti.

L'unità dovrà essere concepita per poter leggere un numero consistente di canali (circa 100) di diversi tipi (misure in corrente, in tensione, termoresistenze, canali digitali...)

Le UAD dovranno essere dotate di una doppia porta che permetta un collegamento "in cascata" delle apparecchiature fino a qualche decina di unità. Con appositi convertitori è possibile utilizzare fibra ottica oppure trasmissione seriale RS422 per lunghe distanze.

L'apparecchiatura dovrà poter essere collegata ad una linea telefonica fissa o tipo GSM per mezzo di un modem. In questo modo è possibile accedere ai dati in tempo reale ed eseguire lo scarico da un centro remoto per un controllo a distanza dell'evoluzione dei fenomeni in atto.

Il sistema sarà corredato di un software per lo scarico dei dati da postazione remota con un'interfaccia utente molto intuitiva. Attraverso questo software sarà possibile anche programmare i sensori, le unità di gestione della rete ed impostare la frequenza di acquisizione e trasmissione dei dati.

- **Minidatalogger Radio** da installarsi dove non sia possibile la stesura di cavi neppure dal sensore alla UAD. Tali apparecchi saranno costituiti da vero e proprio sistema integrato "intelligente" in grado di acquisire automaticamente i segnali, di condizionarli, di memorizzarli e di trasmetterli via radio (in sistema multifrequenza) ad un'unità di gestione della rete preposta a gestire un certo numero di canali (circa 30).

Il sistema sarà corredato di un software per lo scarico dei dati da postazione remota con un'interfaccia utente molto intuitiva. Attraverso questo software sarà possibile anche programmare i sensori, le unità di gestione della rete ed impostare la frequenza di acquisizione e trasmissione dei dati.

Tutti i dati e le misure verranno fatti convergere verso un sistema automatico e centralizzato di acquisizione dati, la cui principale funzione sarà quella di elaborare i parametri misurati, verificarne tutte le variazioni e quindi rapportarli con i comportamenti ipotizzati in sede progettuale sia a media che a lunga scadenza anche per l'azionamento di allarmi ed attenzioni dal confronto del comportamento dei sensori di una zona nel loro complesso.

I sistemi di allarme ed attenzione a soglia su un solo canale sono infatti da considerarsi rischiosi, la velocità di elaborazione raggiunta e la capacità efficace di diagrammazione comparativa dei software di gestione di banche dati porta alla scelta progettuale di creare filtri, allarmi e soglie basate sulla comparazione delle misure di più canali che misurino gli effetti del medesimo fenomeno.