



Autorità di Sistema Portuale  
del Mare Adriatico Orientale  
Porti di Trieste e Monfalcone

## PROGETTO AdSP n° 1948

# Banchinamento parziale del terminal Ro-Ro Noghère nel Porto di Trieste - Fase I secondo il PRP 2016, comprensivo di dragaggio del canale di servizio e di collegamento alla viabilità

### PROGETTISTA:



F&M Ingegneria Spa  
Via Belvedere 8/10  
30035 - Mirano (VE)



SQS srl  
Viale della Terza Armata 7  
34123 - Trieste (TS)



HMR srl  
Piazzale della Stazione 7  
35131 - Padova (PD)



F&M Divisione Impianti srl  
Via Belvedere 8/10  
30035 - Mirano (VE)



HMR Ambinete srl  
Piazzale della Stazione 7  
35131 - Padova (PD)



ArcheoTest Srl  
Via Vidali 5  
34129 - Trieste (TS)

### RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Eric Marcone

## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA

NOME FILE: 1948\_PFTE\_I2\_STR\_r003\_17\_00.doc

SCALA: -

### TITOLO TAVOLA:

**PIANO PRELIMINARE DI MONITORAGGIO  
GEOTECNICO E STRUTTURALE**

### ELABORATO:

**I2\_STR\_r003**

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
00	19/05/2023	PRIMA EMISSIONE PER COMMENTI	S.A.	C.S.	T.T.



## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>IL MONITORAGGIO GEOTECNICO E STRUTTURALE .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>SCOPO DEL MONITORAGGIO .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>CRITERI DI PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO .....</b>	<b>6</b>
4.1	IL FLUSSO DEI DATI .....	6
<b>5</b>	<b>PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO .....</b>	<b>9</b>
5.1	GRANDEZZE DA MONITORARE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE DI FONDAZIONE PROFONDA E DEL DRAGAGGIO ANTISTANTE .....	9
5.2	VERIFICA DELLO STATO DI CONSISTENZA DELLE OPERE D'ARTE ESISTENTI (OLEODOTTO, PRESA A MARE).....	10
5.2.1	Monitoraggio con velocimetri e accelerometri a 3 uscite .....	11
5.2.2	Monitoraggio con inclinometri ad alta precisione .....	11

## Indice delle figure

Figura 5.1 – Centralina registrazione e controllo dei termometri (a sx); configurazione termometri (a dx).....	11
Figura 5.2 – Caposaldi di monitoraggio su opere fisse.....	12
Figura 5.3 – Stazione totale di altissima precisione (a sinistra); mini-prismi (a destra). .....	12



## 1 PREMESSA

Le nuove linee guida del CSLPP sul PTFE definiscono che, già in fase preliminare, venga redatto il “Piano preliminare di monitoraggio geotecnico e strutturale” oggetto della presente relazione.

Il monitoraggio consiste nella tempestiva individuazione del comportamento e delle eventuali anomalie delle opere geotecniche e strutturali, sia durante la loro realizzazione e sia nella vita utile dell’opera, ricoprono sempre di più un ruolo fondamentale nell’ingegneria.

Tale approccio può essere assimilato e mutuato al metodo osservazionale da lungo tempo impiegato in ambito geotecnico e di cui il primo tentativo di formalizzazione fu opera di Peck (1969); se da una parte tale metodologia sia ormai divenuta nota e abituale nella progettazione e nella realizzazione delle opere geotecniche, visto anche il tempo intercorso dal suo primo tentativo di formalizzazione e tutti gli sviluppi successivi (Beniawski, 1989, Sakurai et al. 2003, Christian, 2004, Powderam, 2004), dall’altra gli strumenti e le tecniche di misura sono andati incontro ad uno sviluppo senza precedenti che ha completamente rivoluzionato le modalità, le frequenze e le precisioni delle misurazioni.

Attualmente gli strumenti e le tecniche di monitoraggio disponibili nel mercato sono in grado di misurare il più possibile in continuo ed in tempo reale, o comunque con una elevata frequenza temporale, le grandezze fisiche di interesse (deformazioni, spostamenti e velocità di spostamento, inclinazioni, tensioni, temperature, ecc...) che di volta in volta vengono individuati come rappresentativi per l’opera geotecnica in esame.

L’impiego simultaneo di più sensori (monitoraggio multisensore) e differenti tecniche di misura risponde perfettamente alle già menzionate esigenze e consente allo stesso tempo sufficiente ridondanza nelle misurazioni nonché possibilità di confronto e validazione tra le stesse al fine di superare le limitazioni intrinseche di ciascuna tecnica.



## 2 IL MONITORAGGIO GEOTECNICO E STRUTTURALE

Per il monitoraggio geotecnico e strutturale gli strumenti e le tecniche utilizzabili possono essere raggruppati in due grandi classi: le tecniche dirette e le tecniche indirette o da remoto.

Nel primo caso c'è necessità di contatto diretto tra strumentazione di misura e oggetto misurato ed è quindi necessario installare uno o più sensori sull'oggetto di cui si vuole conoscere una specifica grandezza fisica (e le sue variazioni nel tempo).

Utilizzando invece tecniche di monitoraggio da remoto questa necessità viene meno e diviene possibile misurare l'andamento nel tempo delle grandezze fisiche di interesse senza alcuna necessità di contatto tra sensore e oggetto.

Tra gli strumenti per il monitoraggio diretto di uso più comune in ambito geotecnico si possono usare i clinometri e gli inclinometri per la misura delle inclinazioni delle strutture o degli spostamenti orizzontali nel terreno, i fessurimetri, i deformometri e i trasduttori di spostamento lineari per la misura delle aperture di lesioni e fessure, le celle di pressione e le fibre ottiche per la misura dello stato tensionale e delle deformazioni all'interno di elementi strutturali. Possono essere considerate misure dirette degli spostamenti anche le misure topografiche manuali o automatizzate mediante stazioni totali robotizzate (ATS) ed il posizionamento GPS differenziale (D-GNSS) su specifici punti materializzati con basette, bersagli e mire ottiche.

Per quanto concerne il monitoraggio da remoto, le tecniche più utilizzate in campo geotecnico risultano essere la fotogrammetria, il laser scanner terrestre (TLS) e l'interferometria radar sia con sensori basati a terra (GBInSAR) che da satellite (DInSAR). Tutte queste tecniche sono volte principalmente alla misura degli spostamenti e delle deformazioni dei manufatti antropici, delle strutture ed anche di scenari naturali (pendii instabili, fronti di roccia, fronti di cava, fronti di scavo). Da sottolineare comunque che sia la fotogrammetria che il TLS hanno spesso necessità dell'installazione, seppur temporanea, di alcuni riferimenti specifici nello scenario monitorato, ad esempio per facilitare l'unione e la comparazione delle differenti riprese fotografiche e/o delle nuvole di punti tridimensionali, che quindi ne limitano in parte la potenzialità di monitoraggio puramente da remoto.

Tra le tecniche completamente da remoto più promettenti spicca l'interferometria radar da terra ad apertura sintetica (GBInSAR) per le caratteristiche che la rendono uno strumento di monitoraggio avanzato di primario interesse in ambito geotecnico e strutturale. Questa tecnica consente di ottenere una ricostruzione spazialmente continua ed estesa arealmente fino ad alcuni km<sup>2</sup> degli spostamenti di opere geotecniche con precisione sub-millimetrica ed in ogni condizione atmosferica. Tra le caratteristiche sono da ricordare l'alta frequenza di acquisizione delle immagini (fino ad un'immagine ogni 30") ed una relativa semplicità di interpretazione delle stesse che consentono quindi una determinazione del campo degli spostamenti dello scenario monitorato sostanzialmente in tempo reale anche per lunghi periodi di tempo (settimane e/o mesi). Gli output che si ottengono, sotto forma di mappe di velocità e spostamento costantemente aggiornate, possono essere georeferenziate e quindi successivamente integrate nell'analisi strutturale e geotecnica volta all'individuazione ed allo studio dei cinematismi di collasso, nonché per un utilizzo all'interno di sistemi di allertamento rapido.

Per quanto concerne il monitoraggio geotecnico e strutturale diretto, sono di particolare interesse le reti multisensori wireless (WSN), ovvero reti di sensori collegati con protocolli di comunicazione che utilizzano frequenze radio. In senso più generale le WSN possono essere quindi ricondotte a un'applicazione delle Internet of Things (IoT) ovvero una moltitudine di oggetti eterogenei che interagiscono e dialogano con l'ambiente fisico



che le circonda. Le WSN sono tipicamente basate su nodi sensori a basso costo e a basso consumo energetico che riescono così ad assicurare un funzionamento indipendente per tutto il ciclo di vita del nodo. Il segnale acquisito dai vari sensori, controllati dai nodi che fungono da acquisitori e trasmettitori, viene indirizzato verso un nodo coordinatore e da questo ad una piattaforma web da cui è possibile la consultazione, l'interrogazione e lo scaricamento dei dati agli utenti abilitati. La capacità di auto-organizzazione delle WSN fa sì che i dati acquisiti e trasmessi possano di volta in volta utilizzare percorsi differenti all'interno della rete per raggiungere il coordinatore, rendendo, di fatto, la rete scalabile, adattabile alla variabilità degli ambienti in cui sono installate, e con una elevata tolleranza ai guasti; se un singolo nodo sensore si guasta, i protocolli di trasmissione identificano un percorso alternativo per raggiungere il nodo coordinatore (Giorgetti et al. 2016). I sensori che si possono impiegare nelle reti WSN sono tra i più svariati e variano in base alla grandezza fisica che risulta necessario misurare.



### 3 SCOPO DEL MONITORAGGIO

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 dovranno essere eseguite 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 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.

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, 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. Di ausilio importante per tale studio è inoltre l'analisi dello stato di consistenza dei fabbricati esistenti limitrofi alle nuove opere e di eventuali effetti di subsidenza già presenti negli ultimi anni per effetto delle recenti attività (es: Piattaforma Logistica, Nuovo Depuratore, ...); per tale studio potranno essere, ad esempio, impiegate tecniche di analisi satellitare basate su sistemi SAR.



## 4 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 sulle opere, 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.

### 4.1 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. 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 Centro di Elaborazione Dati.

Livello	Descrizione
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.
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.
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 caricare 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.
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.



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.



## 5 PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Lo scopo del monitoraggio è quello di verificare l'evoluzione delle deformazioni delle strutture da realizzare, rispetto ad una soglia di attenzione e una di allarme, superate le quali, devono essere avviate le attività progettuali atte a limitare e contenere le deformazioni nelle stesse strutture con cadenza da valutare via via il procedere dei lavori. Le soglie sono state così suddivise:

- soglia di attenzione compresa tra nessun movimento ed il raggiungimento del limite di tolleranza;
- soglia di allarme al superamento del limite di tolleranza.

L'attenta analisi del progetto delle opere di fondazione profonde (pali), lo studio geologico dell'area e il contesto del sito di realizzazione hanno definito le grandezze da monitorare; grandezze propedeutiche alle scelte delle tecniche, della metodologia e delle strumentazioni utili per impostare, programmare ed eseguire il monitoraggio.

Le grandezze individuate sono:

- Grandezze da monitorare durante la realizzazione delle opere di fondazione profonda e del dragaggio antistante:
  - a. Deformazione della superficie topografica.
  - b. Deformazioni degli strati di terreno profondi.
  - c. Rotazioni, distorsioni e cedimenti o innalzamento delle strutture esistenti.
- Grandezze da monitorare a opera eseguita:
  - a. monitoraggio delle temperature dei getti massivi in c.a.
  - b. monitoraggio dei movimenti dell'impalcato in esercizio.

### 5.1 Grandezze da monitorare durante la realizzazione delle opere di fondazione profonda e del dragaggio antistante

In dettaglio:

La misura delle grandezze di cui al **punto a)** "Deformazione della superficie topografica" sono di tipo topografico 1D attraverso la misura cadenzata nel tempo delle opere esistenti opportunamente materializzate. Le misure delle grandezze di cui al **punto b)** "Deformazioni degli strati di terreno profondi" sono di tipo geotecnico attraverso l'uso di estensimetri multibase ed inclinometri.





Gli estensimetri multibase da foro sono usati per controllare i movimenti di un certo numero di cosiddetti “punti di misura” in terreni e rocce. Questi punti di misura sono installati in modo permanente a profondità definite entro una perforazione permettendo di rilevarne la posizione rispetto ad un riferimento di superficie determinando così un profilo deformativo.

Gli estensimetri multibase, applicati all'interno di perforazioni di diametro non inferiore a 101 mm fino ad una profondità fino al raggiungimento del substrato stabile provvisti di basi di misura con trasduttori di spostamento che si interfacciano con il sistema centrale di acquisizione (lo stesso utilizzato per i sistemi di velocimetri ed accelerometri) per una lettura in continuo dei valori di cedimento misurati.

Saranno gestiti sistemi di soglia che permetteranno di mettere in stato di allerta gli operatori, tramite spie luminose e segnale acustico, nel caso in cui vengano superate le soglie preimpostate.

Il sistema sarà composto da estensimetri multibase da foro, con ognuno 3 basi di misura, e sarà riposizionato in funzione dell'avanzamento dei lavori e delle indicazioni della D.L.

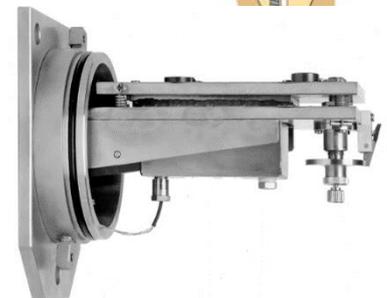
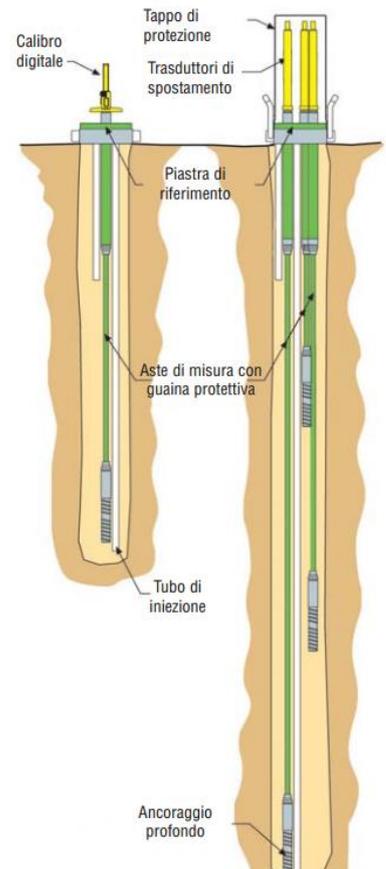
Insieme all'estensimetro verrà installata una **elettrolivella** a tenuta IP67; questa sarà montata in modo da misurare la rotazione del piano verticale rappresentato dalle palancole stesse. Anche in questo caso la misura è assoluta e viene eseguita con estrema precisione (la sensibilità dello strumento proposto è tale da assicurare una precisione nella misura pari a 0.1 mm/m). L'elettrolivella di precisione è un sensore angolare con prestazioni d'eccellenza in termini di stabilità, precisione e sensibilità oltre ad essere autocompensato in temperatura.

Tutte le sezioni previste saranno collegate via cavo ad un unico punto, appositamente individuato, ove sarà ubicata un **sistema di acquisizione dati automatico**, completa di modem GSM in modo da poter eseguire un telecontrollo da una o più sedi remote.

Le misure delle grandezze di cui al **punto c)** “Rotazioni, distorsioni e cedimenti o innalzamento delle strutture degli edifici esistenti” sono di tipo topografico 3D. La rotazione e l'inclinazione degli edifici definita attraverso l'utilizzo di inclinometri biassiali, da GPS opportunamente ingegnerizzati, mire fisse e capisaldi di livellazione su ogni manufatto esistente monitorato. Il monitoraggio comprende le seguenti attività.

## 5.2 Verifica dello stato di consistenza delle opere d'arte esistenti (oleodotto, presa a mare)

L'individuazione degli stati di consistenza sarà effettuata mediante sopralluoghi nei manufatti esistenti e redazione di specifiche relazioni comprensive di documentazione fotografica e rilievo di dettaglio che attesteranno la situazione esistente (stato di fatto, antecedente l'inizio dei lavori). In particolare, potranno ottenersi informazioni circa particolari situazioni anomale pregresse anche al fine di localizzare in maniera





precisa la sensoristica da applicare per il monitoraggio in continuo.

### 5.2.1 **Monitoraggio con velocimetri e accelerometri a 3 uscite**

Onde monitorare il livello di vibrazioni strutturali in corrispondenza delle fasi di effettuazione delle principali lavorazioni, sarà installato un sistema composto da velocimetri e accelerometri a 3 uscite finalizzato alla determinazione sia del livello vibrazionale (riportato con valutazione dei livelli di tollerabilità delle stesse vibrazioni in relazione ai limiti delle strutture) che gli spostamenti e l'accelerazione e, dunque, disporre di una misura del cemento sull'opera esterna. Il sistema sarà integrato nella stessa unità di acquisizione centralizzata definita per le altre proposte e sarà composto da terne di velocimetri posti alla base ed in sommità delle strutture prossime all'area di cantiere. I segnali saranno acquisiti in continuo e registrati al superamento dei valori di soglia preimpostati, sia nel dominio del tempo che delle frequenze, avvisando gli operatori, tramite spie luminose e segnale acustico, dell'avvenuto superamento della soglia critica.



### 5.2.2 **Monitoraggio con inclinometri ad alta precisione**

Al fine di monitorare le opere esistenti si prevede l'utilizzo di inclinometri ad alta precisione, per il reperimento delle grandezze "assolute" di rotazione, installati in corrispondenza della trave di coronamento della parete combinata e che consentano di stabilire con elevato margine di precisione le eventuali variazioni angolari dei macro-elementi individuati. Il sistema di monitoraggio dedicato permetterà l'acquisizione dei valori misurati sia in continuo che al superamento di soglie preimpostate, avvisando la D.L. e/o la Stazione Appaltante nel caso di situazioni critiche.



### 5.3 **Grandezze da monitorare a opera eseguita**

Le misure delle grandezze di cui al **punto a)** "monitoraggio delle temperature dei getti massivi in c.a." si riferiscono a misure di tipo diretto.



Figura 5.1 – Centralina registrazione e controllo dei termometri (a sx); configurazione termometri (a dx).



Le misure delle grandezze di cui al **punto b)** “monitoraggio dei movimenti dell’impalcato una volta realizzato” sono di tipo topografico. Tale sistema consiste nel controllo di alcuni caposaldi di controllo disposti lungo strutture rese fisse, quali piano banchine, verticali dei fabbricati, torri faro.



Figura 5.2 – Caposaldi di monitoraggio su opere fisse.

Le sezioni saranno costituite da punti di misura materializzati con miniprismi. Tutti i punti saranno controllati attraverso stazioni robotiche completamente automatizzate ed opportunamente installate nell’area. Ogni stazione collimerà automaticamente, alla frequenza di 1 prisma al minuto, ogni punto di sua competenza. Le stazioni saranno protette da atti vandalici e collegate a una linea di alimentazione a 230V. Ogni misura sarà eseguita nelle 4 posizioni diritto e capovolto e coniugate e ne sarà automaticamente estrapolata la media. Le caratteristiche di collimazione assicurano precisioni strumentali di 0.5 secondi sulle misure angolari e di 0.6 mm + 1 ppm sulla distanza inclinata. Tutte le unità robotiche saranno spostabili da una postazione all’altra e saranno accoppiate ad un sensore di temperatura e pressione atmosferica al fine di verificare le condizioni ambientali di misurazione. L’obiettivo così raggiunto è un controllo automatico distribuito di tutta la zona interessata dall’area.



Figura 5.3 – Stazione totale di altissima precisione (a sinistra); mini-prismi (a destra).



#### **5.4 Periodicità delle misure**

L'installazione della strumentazione sarà eseguita prima dell'inizio dei lavori con anticipo di almeno 15gg al fine di permettere la maturazione della malta di ancoraggio e la lettura di 0. Le mire topografiche sui manufatti e sul piano campagna saranno collocate almeno una settimana prima dell'inizio delle lavorazioni profonde. Le letture successive saranno eseguite ad ogni fase sensibile allo scopo di seguire costantemente l'effettiva risposta dell'opera privilegiando le fasi di approfondimento del fondale marino durante le operazioni di dragaggio. Altre misure potranno essere necessarie secondo la necessità.

In ogni caso si indica la seguente tempistica di misurazione:

- nel corso dell'esecuzione dei pali di fondazione;
- durante le fasi di realizzazione dell'impalcato a giorno;
- durante l'esecuzione del dragaggio dei fondali marini;
- nel corso dell'infissione del palancoato metalico.

La frequenza delle letture prevista varierà in considerazione dell'impatto che le diverse lavorazioni hanno sulle strutture. Si prevede una frequenza "intensiva" per una settimana all'inizio di ogni fase lavorativa importante seguita da una frequenza "ordinaria" se durante tale prima settimana non si sono registrate misure anomale.

#### **5.5 Conclusioni**

Il piano di monitoraggio elencato, da sviluppare in maniera dettagliata durante i successivi livelli di progettazione, permetterà di valutare il comportamento delle opere nel corso delle più importanti fasi di costruzione e di messa in esercizio.