



**Finanziato
dall'Unione europea**
NextGenerationEU



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA



COMMITTENZA:

CITTA' DI TORINO

Divisione Qualità Ambiente
Arch. Lorenzo De Cristofaro

AMIAT

Responsabile del progetto
Ing. Flavio Frizziero

PROGETTISTI:

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO
DI PROFESSIONISTI

Mandataria

Arch. Corradino Corrado

Mandanti

SD2 Engineering Services S.R.L.
Arch. Petitti Pier Carlo
Ing. Panero Gianluca

Progetto architettonico

Arch. Corradino Corrado
Arch. Gianetto Loris (SD2 Engineering Services SRL)

Progetto strutturale

Ing. Bianco Andrea (SD2 Engineering Services SRL)

Progetto impianti elettrici

Arch. Corradino Corrado
Arch. Gianetto Loris (SD2 Engineering Services SRL)

Progetto impianti meccanici

Arch. Petitti Pier Carlo
Arch. Gianetto Loris (SD2 Engineering Services SRL)

**REGIONE PIEMONTE
PROVINCIA DI TORINO
COMUNE DI TORINO**

**REALIZZAZIONE DI UN NUOVO CENTRO
DI RACCOLTA IN TORINO,
VIA REYCEND ANGOLO VIA MASSARI
CUP: C12F22000940005**

PROGETTO ESECUTIVO

commessa	livello	disciplina	elaborato/doc.	n° foglio	rev.
16201	ESE	ST	RTE	02	B

Titolo

Progetto strutture

**Piano di monitoraggio
geotecnico e strutturale**

File: 16201_ESE-ST_b_Testalini.dwg

DATA AGG.	REV.	OGGETTO
marzo 2025	A	Prima emissione
aprile 2025	B	Emissione a seguito del rapporto di Verifica PE

Fase progetto

ESE

Progetto

Ecocentro

Formato (ISO)

A4

Scala

Data emissione

aprile 2025

SOMMARIO

1.	PREMESSA	3
1.1	Inquadramento	4
1.1.1	Descrizione dell'intervento	4
2.	VALUTAZIONE DEL GRADO DI DANNEGGIAMENTO STRUTTURALE	6
2.1	Categorie di danno	6
3.	GRANDEZZE CHE INTERESSANO I MOVIMENTI DEL SUOLO E DELLE STRUTTURE	9
3.1	Valori di soglia dei cedimenti	9
3.2	Cedimenti prodotti da scavi in superficie	12
4.	PROGRAMMA DEL MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA	14
5.	CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DEI MANUFATTI ESISTENTI	15
5.1	Rapporto di inflessione (Δ/L)	15
5.2	Distorsione angolare	16
5.3	Definizione delle soglie	16
5.4	Mire ottiche	17
5.5	Fessurimetri manuali	17
5.6	Inclinometri	18
5.7	Definizione della deformata e calcolo del rapporto di inflessione	18
5.8	Distorsione angolare	19
6.	APPLICAZIONE AL CASO IN OGGETTO	21
6.1	Distanze fabbricati limitrofi dai confini del lotto	21
6.2	Attività di monitoraggio da effettuare	22
6.2.1	Fabbricati adiacenti ai confini lato nord e ovest	22
6.2.2	Fabbricati adiacenti al confine lato est	22

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1: Vista aerea dell'area oggetto di intervento da Google Maps.....	3
Fig. 2: Pianta di inquadramento degli interventi.....	4
Fig. 3: Estratto mappale geoportale geo-Piemonte.....	5
Fig. 4: Classificazione dei danni visibili con particolare riferimento alla facilità di riparazione di strutture murarie.....	7
Fig. 5: Definizione delle grandezze relative ai movimenti di terreno e strutture.....	10
Fig. 6: Distorsioni angolari limite secondo Bierrum (1963).....	11
Fig. 7: Cedimenti prodotti da scavi (Peck, 1969).....	12
Fig. 8: Definizione del rapporto di inflessione.....	15
Fig. 9: Valori attesi, di attenzione e di allarme per il rapporto di inflessione.....	16
Fig. 10: Valori attesi, di attenzione e di allarme per la distorsione angolare.....	16

Fig. 11: Zone a differente curvatura. 19

Fig. 12: Schema per il calcolo della distorsione angolare..... 19

Fig. 13: Calcolo distanza fabbricato più vicino da confine su via Massari..... 21

Fig. 14: Calcolo distanza fabbricato più vicino da confine su via Reycend..... 22

Fig. 15: Individuazione delle attività di monitoraggio..... 23

1. PREMESSA

La presente relazione delinea i criteri ai quali attenersi per il controllo degli effetti indotti dagli scavi e dalle lavorazioni previste nel presente appalto nei confronti dei manufatti esistenti. Dopo una analisi delle grandezze oggetto di monitoraggio e dei criteri per la definizione della classe del danno, si procederà alla descrizione del programma di monitoraggio che dovrà essere condotto durante tutte le fasi di costruzione dell'opera.

Il nuovo Ecocentro oggetto dell'appalto è previsto da realizzarsi in via Giuseppe Massari angolo via Enrico Reycend, a Torino (TO), per conto di A.M.I.A.T. S.p.A., società a partecipazione mista (Città di Torino e IREN Ambiente), nell'ambito del P.N.R.R., Missione 2, Componente 1.1, Linea A: "Miglioramento e meccanizzazione della rete di raccolta differenziata dei rifiuti urbani" ai sensi del D.M. 396 del 28 settembre 2021 – finanziato dall' unione europea – Next Generation EU.



Fig. 1: Vista aerea dell'area oggetto di intervento da Google Maps.

L'area in questione è compresa tra via Giuseppe Massari, via Enrico Reycend e via Orbetello, censita al Catasto Terreni, Foglio 1054, particella 91. La superficie complessiva su cui si svilupperà l'ecocentro è di forma rettangolare, libera da fabbricati. Si tratta di circa 4000 metri quadrati con un fronte di circa 90 metri lungo via Massari e di circa 40 metri lungo via Reycend.

1.1 INQUADRAMENTO

1.1.1 Descrizione dell'intervento

L'intervento in progetto prevede la realizzazione dei seguenti manufatti:

- Un piccolo edificio in c.a., comprendente un locale destinato a guardiola/ufficio per la sorveglianza e ricevimento per il cliente, un servizio igienico e un locale impiantistico;
- Un'area destinata alla collocazione di cassoni scarrabili per la raccolta differenziata e delle aree di sosta per consentire un agevole conferimento dei materiali a cura dei conferenti. Dette aree saranno rialzate, tramite rampa veicolare, per agevolare lo scarico del materiale da parte degli utenti;
- Una tettoia in carpenteria metallica, in prossimità dell'uscita dell'Ecocentro, di dimensione pari a circa 27.00 x 5.50m e altezza pari a circa 4m da quota piazzale, a protezione della zona di conferimento e deposito di rifiuti cosiddetti "pericolosi", quali vernici, olii, RAEE;
- Una tettoia in carpenteria metallica, di dimensione pari a circa 21.00 x 10.00m e altezza pari a circa 6m da quota piazzale, a protezione dei rifiuti R1, R3 e R4 che saranno depositati in appositi contenitori stagni.

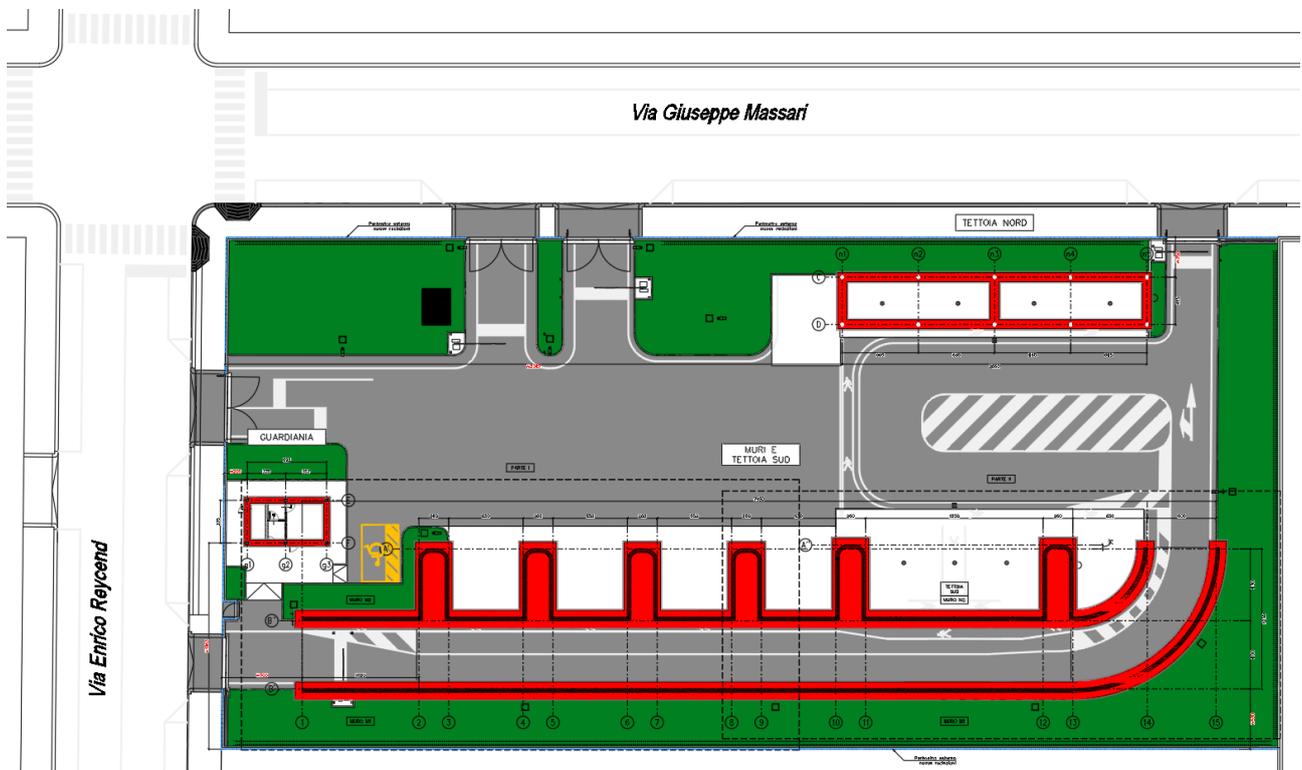


Fig. 2: Pianta di inquadramento degli interventi.



Fig. 3: Estratto mappale geoportale geo-Piemonte.

2. VALUTAZIONE DEL GRADO DI DANNEGGIAMENTO STRUTTURALE

La valutazione del grado di danneggiamento di una struttura può essere molto soggettiva e spesso emotiva e può essere condizionata da una serie di fattori quali l'esperienza, l'atteggiamento degli assicuratori, l'approccio prudente del tecnico, ecc.

In assenza di linee guida oggettive, basate sull'esperienza, possono prendere campo atteggiamenti estremi e aspettative irrealistiche nei confronti delle prestazioni dell'edificio.

Vale la pena di sottolineare che la maggior parte degli edifici è affetta da quadri fessurativi, spesso estranei a cedimenti fondali, che possono essere risolti in modo agevole nell'ambito della normale ordinaria manutenzione.

Chiaramente, se deve essere effettuata una valutazione del rischio di danni dovuti a movimenti del terreno, la classificazione del danno diventa una questione fondamentale. Nel Regno Unito, lo sviluppo di un sistema oggettivo di classificazione del danno ha dimostrato di essere molto utile nella creazione di atteggiamenti realistici verso la valutazione del danno delle costruzioni e anche nella messa a disposizione di criteri logici e oggettivi per la progettazione.

2.1 CATEGORIE DI DANNO

Nell'ambito dei danni alle costruzioni, si possono individuare tre grandi categorie che possono interessare:

- (i) l'aspetto visivo o estetico,
- (ii) la manutenzione o la funzione,
- (iii) la stabilità.

Con l'aumento dei movimenti in fondazione, i danni progrediranno successivamente da (i) a (iii).

Dalle suddette tre grandi categorie di danno, è possibile passare ad una classificazione più dettagliata, indicata nella *Fig. 4*, nella quale si individuano sei categorie di danno numerate da 0 a 5 con gravità crescente, così concepite:

- le categorie 0, 1 e 2 si riferiscono a danni "estetici",
- le categorie 3 e la 4 riguardano danni "di manutenzione/limitazione delle funzioni d'uso",
- la categoria 5 rappresenta il danno che colpisce "la stabilità".

Tale classificazione è stata concepita da Burland et al. (1977), a seguito degli studi di Jennings & Kerrich (1962), dell'UK National Coal Board (1975) e di MacLeod & Littlejohn (1974). Da allora è stata adottata con solo piccole modifiche dal Building Research Establishment (BRE - 1981

e 1990) e dall'Istituto degli Ingegneri strutturali di Londra (1978,1989 e 1994).

Categoria di rischio	Grado di danneggiamento	Descrizione del danno
0	trascurabile	Fessure “capello d’angelo” di apertura dell’ordine di un decimo di millimetro.
1	molto leggero	<u>Sottili fessure facilmente nascondibili con lavori di rifinitura.</u> Danni generalmente ristretti alle finiture dei tramezzi. Fessure ampie fino ad 1 mm, visibili nei blocchi delle murature esterne ad attento esame ravvicinato.
2	leggero	<u>Fessure facilmente riempibili.</u> Probabile richiesta re – intonacatura o verniciatura, o rivestimento di piastrelle ex – novo. Le fessure sono visibili anche nelle pareti esterne, potendo essere anche necessario <u>riempirne qualcuna per mantenere la protezione dagli agenti atmosferici.</u> Porte e finestre possono leggermente incastrarsi. Lo spessore delle fessure può arrivare a 5 mm.
3	moderato	<u>Le fessurazioni richiedono l’intervento di un muratore, per rattoppare le brecce create.</u> Una parte di fessure possono essere <u>riempite con malta, in alcuni casi occorre sostituire alcuni elementi della muratura.</u> Porte e finestre si incastrano, si possono avere rotture delle tubature di servizio e spesso viene indebolita la tenuta atmosferica. Valori delle fessure da 5 a 15 mm, o un numero maggiore di ampiezza minore (≈ 3 mm).
4	grave	<u>Interi sezioni di muratura deve essere demolita e sostituita, con lavori estesi specialmente a porte e finestre.</u> Si fa sentire l’inclinazione del pavimento, stipiti ed architravi di porte e finestre sono visibilmente (con differenze di pendenza maggiori di 1/100) distorti; si notano anche inclinazione e rigonfiamenti delle pareti, perdite di carico delle travi. Tubazioni distrutte. L’ampiezza delle fessure giunge a 15 ÷ 25 mm, dipendendo dalla frequenza.
5	molto grave	A questo livello occorrono parziali o totali ricostruzioni del fabbricato. Le travi non portano più il loro carico, l’inclinazione delle pareti è tale da rendere necessario il puntellamento, le finestre si rompono con la distorsione: c’è pericolo di instabilità. La distribuzione delle fessure può portare ad ampiezze delle stesse superiori a 25 mm.

Fig. 4: Classificazione dei danni visibili con particolare riferimento alla facilità di riparazione di strutture murarie.

Il sistema di classificazione riportato in Fig. 4 si basa sulla “facilità di riparazione” del danno visibile; così, per classificare danni visibili è necessario, nello svolgimento dell’indagine, valutare quale tipo di attività sarebbe necessaria per riparare i danni sia esternamente che internamente con le seguenti importanti considerazioni:

- La classificazione si riferisce solo al danno visibile in un dato momento e non alla sua causa o eventuale progressione, che sono questioni separate.

- Si deve resistere alla forte tentazione di classificare il danno esclusivamente sulla larghezza della fessura: è la facilità di riparazione il fattore chiave nel determinare la categoria di danno.
- La classificazione è stata sviluppata per costruzioni in muratura o blocchi di cemento o muratura in pietra; può essere adattata ad altre forme di rivestimento.
- Potrebbero essere necessari criteri più rigorosi in caso di danni che possono comportare corrosione, penetrazione o fuoriuscita di liquidi e gas dannosi o cedimenti strutturali.

Oltre a definire le categorie numeriche di danno, la *Fig. 4* elenca anche il grado di severità associato a ciascuna categoria. Queste descrizioni di gravità si riferiscono di norma a edifici civili e servono come guida per proprietari e occupanti.

La linea di demarcazione tra le categorie 2 e 3 è particolarmente importante: studi condotti su una estesa casistica hanno evidenziato che i danni fino alla categoria 2 possono derivare da una varietà di cause, sia insite nella struttura stessa (ad esempio ritiro o effetti termici) che legate al comportamento del suolo.

L'identificazione della causa del danno è di solito molto difficile e spesso risulta da una combinazione di cause; se il danno supera la categoria 2, la causa è di solito molto più facile da identificare ed è frequentemente associata con il movimento del terreno. Così la divisione tra le categorie 2 e 3 rappresenta una soglia importante.

3. GRANDEZZE CHE INTERESSANO I MOVIMENTI DEL SUOLO E DELLE STRUTTURE

3.1 VALORI DI SOGLIA DEI CEDIMENTI

L'obiettivo di definire i valori di soglia dei cedimenti, al di sotto dei quali non si hanno danni strutturali, costituisce uno studio particolarmente ambizioso se si pretende di perseguirlo con rigore scientifico, in quanto l'operazione di mettere in relazione i movimenti della fondazione con i danni della struttura passa attraverso la disamina di molteplici e complessi fattori.

Premessa indispensabile a ogni esame di questo genere risulterebbe pertanto la corretta individuazione dell'organismo strutturale, delle caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati, unitamente alla conoscenza delle modalità e dei tempi di esecuzione.

Sembra pertanto obbligatorio il ricorso ad un processo empirico, basato sull'osservazione del comportamento di strutture già realizzate.

Burland e Wroth (1974) hanno proposto una serie coerente di definizioni basate sugli spostamenti (sia misurati che calcolati) di un numero di punti discreti sulle fondazioni di un edificio. Le definizioni sembrano essere state ampiamente accettate e sono illustrate in *Fig. 5*:

- (a) La rotazione o inclinazione θ è la variabile di inclinazione di una linea che unisce due punti di riferimento (ad esempio AB nella *Fig. 5-a*);
- (b) La deformazione angolare α è definita in *Fig. 5-a*. È positiva per concavità rivolte verso l'alto (Sagging) e negativa per concavità verso il basso (Hogging);
- (c) La deflessione relativa Δ è lo spostamento di un punto rispetto alla linea che collega due punti di riferimento sullo stesso lato (vedi *Fig. 5-b*). La convenzione dei segni è come per il punto precedente (b);
- (d) Il rapporto di deformazione (di sagging o hogging) è indicato come Δ/L , dove L è la distanza tra i due punti di riferimento che definiscono Δ . La convenzione di segno è la medesima dei punti (b) e (c);
- (e) Il tilt ω descrive la rotazione del corpo rigido della struttura o di una parte ben definita di essa (vedere *Fig. 5-c*);
- (f) La rotazione relativa (distorsione angolare) β è la rotazione della linea che unisce due punti, relativamente al tilt ω (vedere *Fig. 5-c*). Non è sempre semplice identificare l'inclinazione e la valutazione della β a volte può risultare difficile. È anche molto importante non confondere la rotazione relativa β con la deformazione angolare α . Per queste ragioni Burland e Wroth (1974) hanno preferito l'uso di Δ/L come misura della

distorsione dell'edificio.

- (g) La deformazione media orizzontale ξ_h è definita come la variazione di lunghezza δL sulla lunghezza L . In meccanica del suolo, è consuetudine assumere una riduzione della lunghezza (compressione) come positiva.

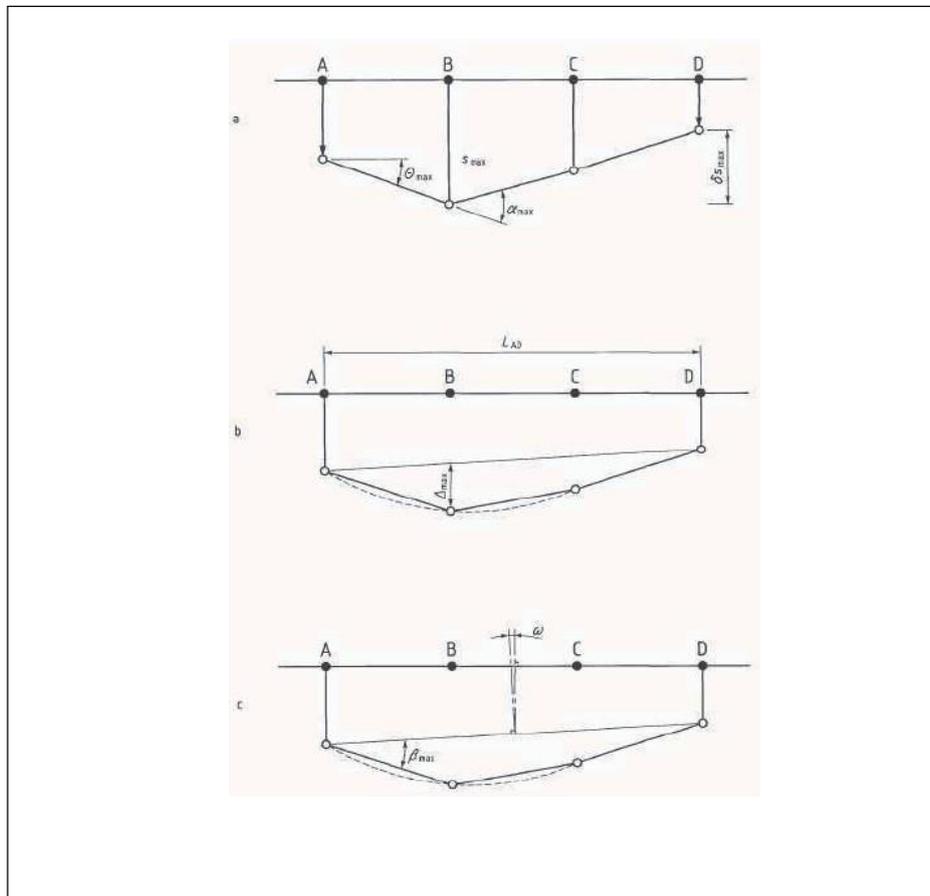


Fig. 5: Definizione delle grandezze relative ai movimenti di terreno e strutture.

Le definizioni di cui sopra si applicano solo alle deformazioni nel piano e nessun tentativo è stato fatto per definire il comportamento tridimensionale. Inoltre, esse si applicano con riferimento a due punti qualsiasi della struttura di fondazione, che non necessariamente coincidono con le sue estremità.

Nel tentativo di stabilire dei criteri di accettabilità dei cedimenti differenziali, bisogna ricordare che le strutture, per quanto all'apparenza possano sembrare simili, sono caratterizzate in realtà da una storia diversa, condizionata da fattori quali la successione dei carichi, le deformazioni viscosi, le fessurazioni e altri ancora, che possono minare alle fondamenta ogni tentativo di eccessiva generalizzazione.

Facendo riferimento al lavoro di Skempton e MacDonald (1956), basato sull'osservazione di 98 edifici, i valori limite della rotazione relativa β dovrebbe essere dell'ordine di 1/500 per evitare

la fessurazione delle strutture di tamponamento, e dell'ordine di 1/150 per evitare danno alle strutture portanti in calcestruzzo armato.

<i>Categoria di danno potenziale</i>	<i>tan β</i>
• Limite oltre il quale possono sorgere problemi in macchinari sensibili ai cedimenti	1/750
• Limite di pericolo per strutture reticolari	1/600
• Limite di sicurezza per edifici in cui non si ammettono fessurazioni	1/500
• Limite oltre il quale possono apparire le prime fessure nei muri di tamponamento e difficoltà nell'uso dei carri ponte	1/300
• Limite oltre il quale possono essere visibili inclinazioni di edifici alti.	1/250
• Notevoli fessure in muri di tamponamento e muri portanti in laterizio.	1/250
• Limite di sicurezza per muri portanti in laterizio con $h/L < 1/4$.	1/150
• Limite oltre il quale si devono temere danni strutturali negli edifici.	1/150

Fig. 6: Distorsioni angolari limite secondo Bierrum (1963).

Definiti i valori di soglia, si pone il problema della previsione dei cedimenti differenziali.

Benché risulti relativamente attendibile la previsione del cedimento totale di una struttura, altrettanto non può dirsi dei cedimenti differenziali, dato che questi ultimi dipendono, a parità di altri fattori quali l'effettiva rigidità della struttura, dalla intrinseca variabilità spaziale delle caratteristiche del terreno. Alla luce di tali considerazioni, la strada più efficace per pervenire a previsioni attendibili è quella di correlare i cedimenti differenziali al cedimento massimo osservato.

In particolare, si riportano le seguenti correlazioni empiriche (Grant et al., 1974):

a) Fondazioni su sabbie:

$$\delta_{\max} \text{ (mm)} = 15000 \beta_{\max} \text{ (plinti)}$$

$$\delta_{\max} \text{ (mm)} = 18000 \beta_{\max} \text{ (platee)}$$

b) Fondazioni su argille:

$$\delta_{\max} \text{ (mm)} = 30000 \beta_{\max} \text{ (plinti)}$$

$$\delta_{\max} \text{ (mm)} = 35000 \beta_{\max} \text{ (platee)}$$

3.2 CEDIMENTI PRODOTTI DA SCAVI IN SUPERFICIE

L'entità e la distribuzione dei cedimenti prodotti da scavi dipendono da molteplici fattori: dal tipo di terreno, dalle condizioni di falda, dalla tecnica di scavo e dalla rigidità delle strutture di sostegno. Non è pertanto possibile effettuare previsioni accurate, ma ci si deve accontentare di individuare i limiti, superiore ed inferiore, entro i quali ricadono i cedimenti attesi, principalmente sulla base delle esperienze acquisite.

Innanzitutto, va osservato che la rimozione del terreno di scavo produce uno scarico tensionale, al quale sono associati movimenti che interessano un'ampia zona di terreno. Questi movimenti possono riguardarsi come indipendenti dalla natura dell'opera di sostegno e, per tale motivo, non possono essere controllati. Movimenti locali sono, in aggiunta, prodotti in adiacenza alle strutture di sostegno dalle deformazioni plastiche sviluppatesi nelle zone di equilibrio limite, di tipo attivo e passivo.

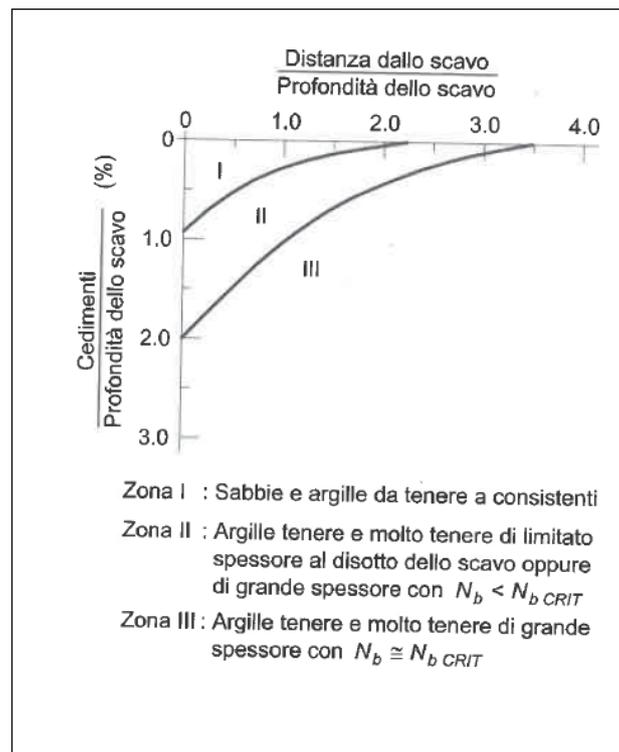


Fig. 7: Cedimenti prodotti da scavi (Peck, 1969).

Nell'ambito degli scavi eseguiti a cielo aperto, una notevole quantità di misure (effettuate durante la costruzione delle metropolitane di Berlino, Mosca, New York, Chicago, Oslo e Tokyo) è stata analizzata da Peck (1969), pervenendo alle seguenti indicazioni di particolare significatività ai fini applicativi:

- a) Nel caso di scavi in sabbie (zona I in Fig. 7), i cedimenti della superficie del terreno si estendono fino ad una distanza dallo scavo praticamente pari alla profondità dello scavo

stesso. Se la struttura di sostegno è adeguatamente puntellata, il massimo cedimento non supera il 5‰ della profondità dello scavo ma questo non significa che, in relazione alla tipologia delle strutture presenti nelle adiacenze dello scavo, non si producano danni;

- b) Se lo scavo interessa una formazione argillosa, il terreno ai bordi dello scavo agisce come un sovraccarico, di conseguenza possono prodursi sollevamenti o rotture sul fondo scavo, dovuti all'instaurarsi, in condizioni non drenate, di possibili cinematismi.

Un modo conveniente di individuare i margini di sicurezza esistenti consiste nell'assimilare il problema a un'analisi di capacità portante: il terreno adiacente allo scavo rappresenta l'azione esterna (γh) e la resistenza in gioco è offerta dalla resistenza non drenata s_u agente lungo la potenziale superficie di scivolamento. È così possibile definire un indice di stabilità:

$$N_b = s_u / \gamma h$$

In base ad esso, si possono distinguere i casi esaminati nel seguito:

- i. Se la larghezza dello scavo è contenuta o lo strato tenero è confinato inferiormente da uno strato consistente, i cedimenti in superficie risultano contenuti. In generale, essi si propagano nell'ambito di una distanza inferiore alla profondità dello scavo, e il massimo cedimento è dell'ordine del 5‰ di h ;
- ii. Quando aumenta la larghezza dello scavo o se lo strato di argilla tenera si estende fino a profondità significative, i movimenti interessano un'ampia zona di terreno (zona III in *Fig. 7*). Se l'indice di stabilità prima definito è dell'ordine di 4, il cedimento risulta già significativo e si propaga a distanza che superano la profondità dello scavo, a prescindere dall'attenzione con la quale siano state messe in opera le strutture di puntellamento. Quando N_b raggiunge un valore prossimo a 7 o 8, è inevitabile che si verifichi la rottura del fondo dello scavo.

4. PROGRAMMA DEL MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA

Il programma di monitoraggio che sarà necessario adottare in corso d'opera per il controllo degli effetti sulle opere esistenti, indotti dalla realizzazione del nuovo ecocentro, viene delineato nel seguito. Il piano di monitoraggio si articola in più fasi:

- Ante operam: con verifica preventiva dello stato di consistenza dei manufatti esistenti e monitoraggio preventivo prima dell'inizio dei lavori, con particolare attenzione alle eventuali situazioni ritenute critiche che dovessero evidenziarsi in fase di sopralluogo preventivo, al fine di verificare problematiche che possano prescindere dalle lavorazioni previste;
- Corso d'opera: con prosecuzione del monitoraggio iniziato nella fase precedente, con implemento della frequenza di estrapolazione dei dati e trasmissione attraverso report periodici alla Direzione dei Lavori e agli organi di controllo; è prevista la verifica continua dei dati durante le lavorazioni ritenute critiche;
- Post operam: stato di consistenza finale a collaudo avvenuto, acquisendo le ultime letture dei dispositivi di monitoraggio.

Il sistema di monitoraggio permetterà pertanto di:

- verificare la validità delle ipotesi progettuali;
- assicurare che l'opera sia in grado di esplicare le sue funzioni nel tempo;
- controllare che il campo di deformazioni e di spostamenti sia compatibile con strutture e manufatti collocati nelle vicinanze delle nuove opere.

Il sistema di monitoraggio sarà installato e gestito dall'Appaltatore fino alla ultimazione dei lavori, con consegna periodica alla Direzione dei Lavori dei previsti rapporti delle misure. Dopo l'ultimazione dei lavori la gestione della strumentazione, se del caso, sarà proseguita dall'Ente Appaltante.

5. CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DEI MANUFATTI ESISTENTI

Il sistema di monitoraggio deve fornire tutte le informazioni necessarie affinché si possa controllare l'evoluzione dei cedimenti e delle deformazioni indotte sui manufatti. Le deformazioni indotte sui manufatti dalle operazioni di scavo sono direttamente correlabili ai cedimenti verticali e agli spostamenti orizzontali che dovranno essere monitorati attraverso una serie di:

- mire ottiche collocate nei punti maggiormente significativi dei manufatti esistenti;
- eventuali sezioni strumentate poste in prossimità dei manufatti in analisi.

Le grandezze misurate in superficie permettono il calcolo di alcuni parametri rappresentativi dell'andamento delle operazioni di scavo e dei relativi effetti sulle opere in superficie.

Questi parametri sono rispettivamente:

- il rapporto di inflessione;
- la distorsione angolare tra punti significativi dei manufatti.

5.1 RAPPORTO DI INFLESSIONE (Δ/L)

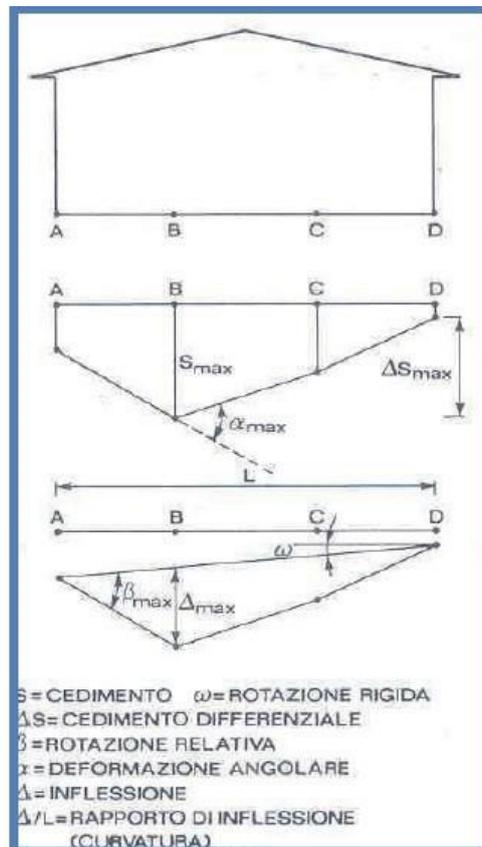


Fig. 8: Definizione del rapporto di inflessione.

È il rapporto tra la massima distanza misurata tra la configurazione rigida del manufatto e la sua deformata e la lunghezza del manufatto, o della porzione interessata dai cedimenti (ved. Fig. 8).

Al fine di valutare correttamente le subsidenze e definire gli effetti dello scavo sui manufatti interessati, occorre tener conto dei seguenti fattori:

- caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati;
- tipo di manufatto;
- dimensioni del manufatto;
- posizione relativa rispetto al nuovo edificio.

5.2 DISTORSIONE ANGOLARE

È il rapporto tra la massima differenza di cedimento tra due punti attigui e la distanza tra i suddetti punti interessati dai cedimenti.

Al fine di valutare correttamente le subsidenze e definire gli effetti dello scavo sui manufatti interessati, occorre tener conto dei seguenti fattori:

- caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati;
- tipo di manufatto;
- dimensioni del manufatto;
- posizione relativa rispetto al nuovo edificio.

5.3 DEFINIZIONE DELLE SOGLIE

I valori attesi e delle soglie di attenzione e allarme delle grandezze misurate sono suggeriti nelle seguenti tabelle, valevoli rispettivamente per i rapporti di inflessione e per le distorsioni angolari.

PARAMETRO RIFERIMENTO	DI	DEFINIZIONE VALORE	VALORE
Rapporto di inflessione (-) Δ/L		valore atteso	$\leq \pm 1/2000$
		valori di attenzione	$> \pm 1/2000$ e $\leq \pm 1/1000$
		valori di allarme	$> \pm 1/1000$

Fig. 9: Valori attesi, di attenzione e di allarme per il rapporto di inflessione.

PARAMETRO RIFERIMENTO	DI	DEFINIZIONE VALORE	VALORE
Distorsione angolare (-) α		valore atteso	$\leq \pm 1/1000$
		valori di attenzione	$> \pm 1/1000$ e $\leq \pm 1/500$
		valori di allarme	$> \pm 1/500$

Fig. 10: Valori attesi, di attenzione e di allarme per la distorsione angolare.

I manufatti da monitorare dovranno essere dotati di mire ottiche. L'installazione delle mire ottiche e il rilievo degli spostamenti sono effettuati lungo corpi perimetrali che siano accessibili e comunque monitorabili.

Su tali manufatti saranno eseguite le misure di zero, prima dell'inizio di qualunque attività di scavo; le stesse saranno precedute dalla redazione di Testimoniali di stato per l'accertamento delle condizioni ante operam.

Le caratteristiche e le modalità esecutive del programma di monitoraggio verranno descritte dettagliatamente al par. 6.2, con l'indicazione delle specifiche tecniche sulla strumentazione e sulle modalità di raccolta, validazione e gestione dei dati misurati. L'insieme dei dati di monitoraggio concorrerà inoltre alla determinazione delle informazioni necessarie per la definizione dell'intensità degli interventi e delle cadenze lavorative.

5.4 *MIRE OTTICHE*

Devono permettere il rilievo degli spostamenti spaziali che devono essere utilizzati per il calcolo del rapporto di inflessione (stazione di rilievo totale). Il loro numero deve essere funzione dei seguenti fattori:

- lunghezza manufatto da monitorare;
- possibilità pratica di rilievo;

e comunque si devono rispettare le seguenti condizioni di base:

- nel caso di strutture a telaio in c.a., dovrà essere installata almeno una mira in corrispondenza di ciascun elemento verticale visibile o comunque rilevabile;
- nel caso di manufatti in muratura, si deve installare una mira ogni 5 m di muratura;
- in ogni caso, il numero minimo di mire installate deve essere sempre > 3 , in modo da poter valutare il valore di rapporto di inflessione corrispondente.

5.5 *FESSURIMETRI MANUALI*

Potranno essere posizionati a cavallo delle fessure dei manufatti e dovranno permettere, tramite la lettura manuale, il rilievo degli spostamenti relativi tra i lembi della fessura. Il loro numero e posizione, o eventualmente diverse tipologie di monitoraggio, verranno definiti, in base agli esiti degli stati di consistenza. La loro ubicazione verrà definita in accordo con la Direzione Lavori.

5.6 INCLINOMETRI

Potranno essere installati sulle facciate dei manufatti esistenti per misurare l'inclinazione del punto in cui è installato rispetto all'asse gravitazionale. Il loro numero e posizione, o eventualmente diverse tipologie di monitoraggio, verranno definiti, in base agli esiti degli stati di consistenza. La loro ubicazione verrà definita in accordo con la Direzione Lavori.

5.7 DEFINIZIONE DELLA DEFORMATA E CALCOLO DEL RAPPORTO DI INFLESSIONE

Il rapporto di inflessione si calcola partendo dai valori di cedimento misurati attraverso le mire ottiche posizionate sul manufatto monitorato. Si ricorda che il bacino di subsidenza indotto dallo scavo può presentare zone differenti a seconda della condizione di convessità, “zone di hogging”, o di concavità, “zone di sagging”, della curvatura; quindi i valori di rapporto di inflessione calcolati saranno più di uno a seconda del numero di zone di sagging e/o di hogging che interessano l'edificio analizzato: ad esempio nella *Fig. 11* si individuano 2 zone, 1 di sagging e 1 di hogging, ne deriva la necessità di calcolare 2 differenti valori del rapporto di inflessione.

La procedura di calcolo dei valori di rapporto di inflessione è la seguente:

- rilievo cedimenti S;
- definizione della deformata del manufatto e calcolo dei valori di inflessione Δ ;
- calcolo del (o dei) valori del rapporto di inflessione;
- rappresentazione su un piano cartesiano dei punti corrispondenti ai punti di rilievo topografico;
- rappresentazione dei corrispettivi cedimenti e calcolo dei valori di inflessione (per le zone di hogging e di sagging che interessano l'edificio) come distanza massima tra la deformata dell'edificio e la sua configurazione rigida, intesa come la corda che unisce la coppia di punti considerati (ved. Fig. 11).

I valori dei cedimenti da utilizzare nel calcolo saranno riferiti alla situazione di zero iniziale.

I valori del rapporto di inflessione si ottengono come rapporto tra il valore calcolato di Δ ed il rispettivo valore di L:

$$\left(\frac{\Delta_{i_sagging}}{L_{i_sagging}}\right) \text{ per le zone di sagging}$$

$$\left(\frac{\Delta_{i_hogging}}{L_{i_hogging}}\right) \text{ per le zone di hogging}$$

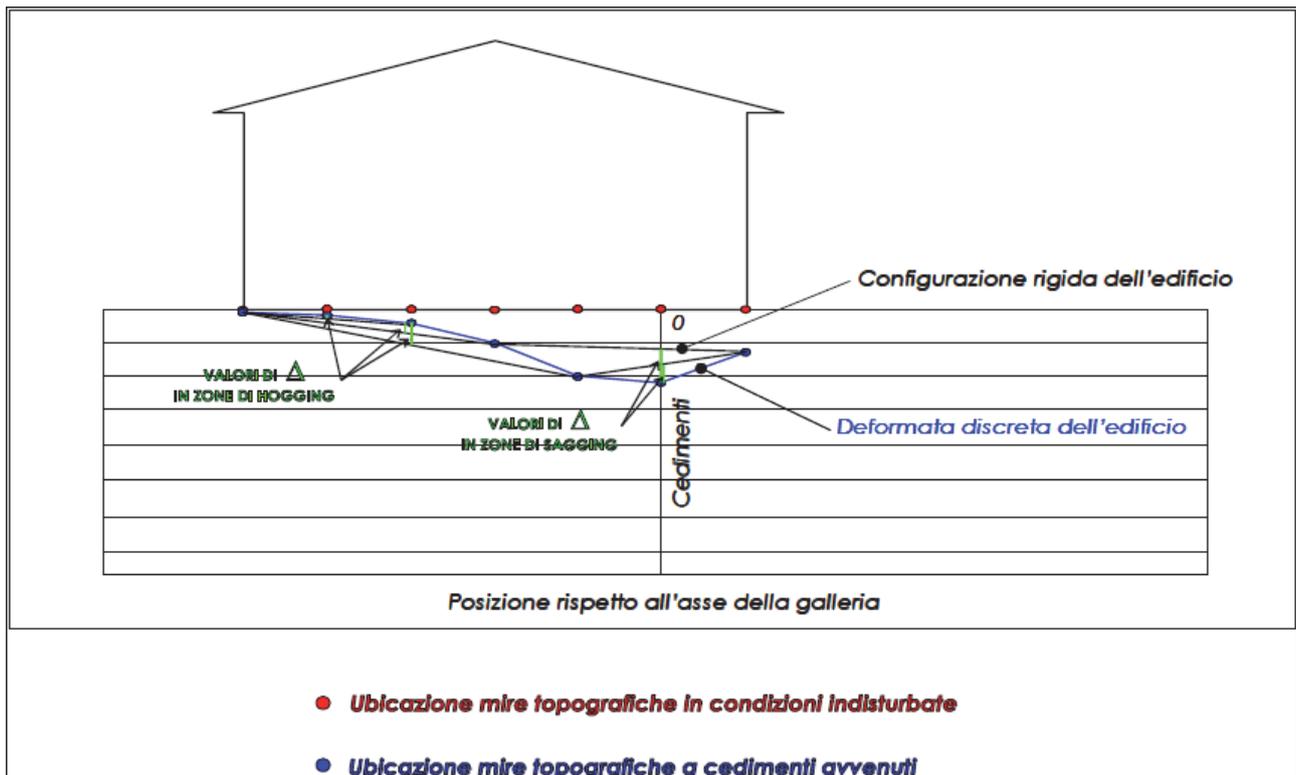


Fig. 11: Zone a differente curvatura.

5.8 DISTORSIONE ANGOLARE

La distorsione angolare rappresenta il rapporto fra il cedimento di due punti contigui di un manufatto e la distanza fra i punti stessi:

$$\beta_{\max} = (S_i - S_{i+1}) / L_i$$

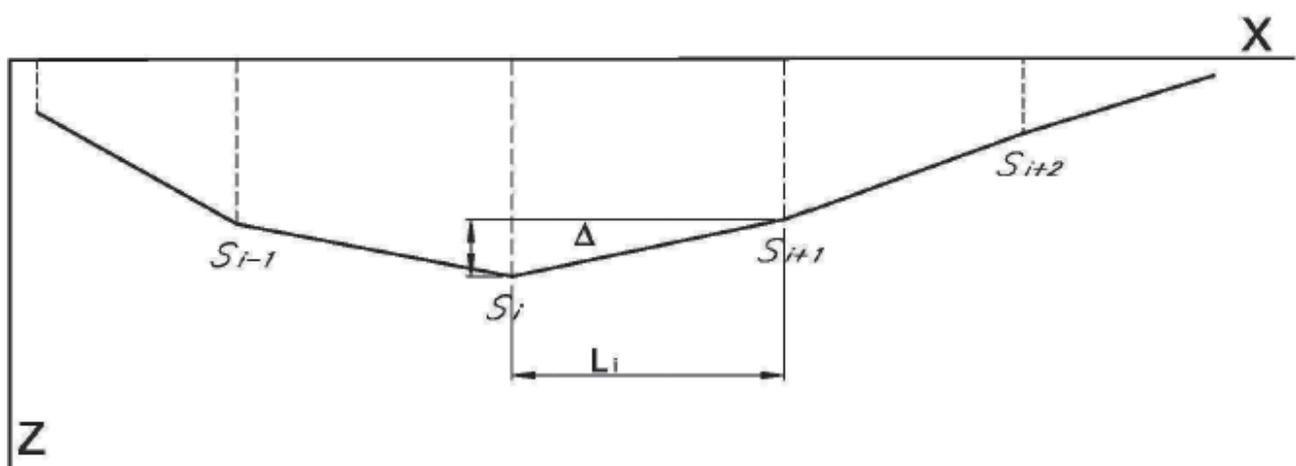


Fig. 12: Schema per il calcolo della distorsione angolare.

Ove fosse di entità significativa, la distorsione potrà essere depurata della rotazione rigida, definita come rapporto fra la differenza fra il cedimento del primo ed ultimo punto del profilo del manufatto e la distanza orizzontale fra questi due punti:

$$\beta_{\text{rigida}} = (S_N - S_1) / L_{N,1}$$

In tal caso le soglie di attenzione/allarme definite nel paragrafo precedente saranno riferite alla distorsione depurata della aliquota attribuibile alla rotazione rigida:

$$\beta_{\text{max}} = (S_i - S_{i+1}) - \beta_{\text{rigida}}$$

6. APPLICAZIONE AL CASO IN OGGETTO

6.1 DISTANZE FABBRICATI LIMITROFI DAI CONFINI DEL LOTTO

Facendo riferimento alla vista aerea riportata in *Fig. 1*, si desume che il manufatto più vicino all'area interessata dai lavori è il muro di recinzione esistente che si sviluppa lungo il confine sul lato est del lotto.

Per quanto concerne invece gli altri confini del lotto, il fabbricato esistente più vicino al lato nord (verso via Massari) dista circa 26m dal confine (ved. *Fig. 13*), mentre quello più vicino sul lato ovest (verso via Reycend) dista circa 17m dal confine (ved. *Fig. 14*).

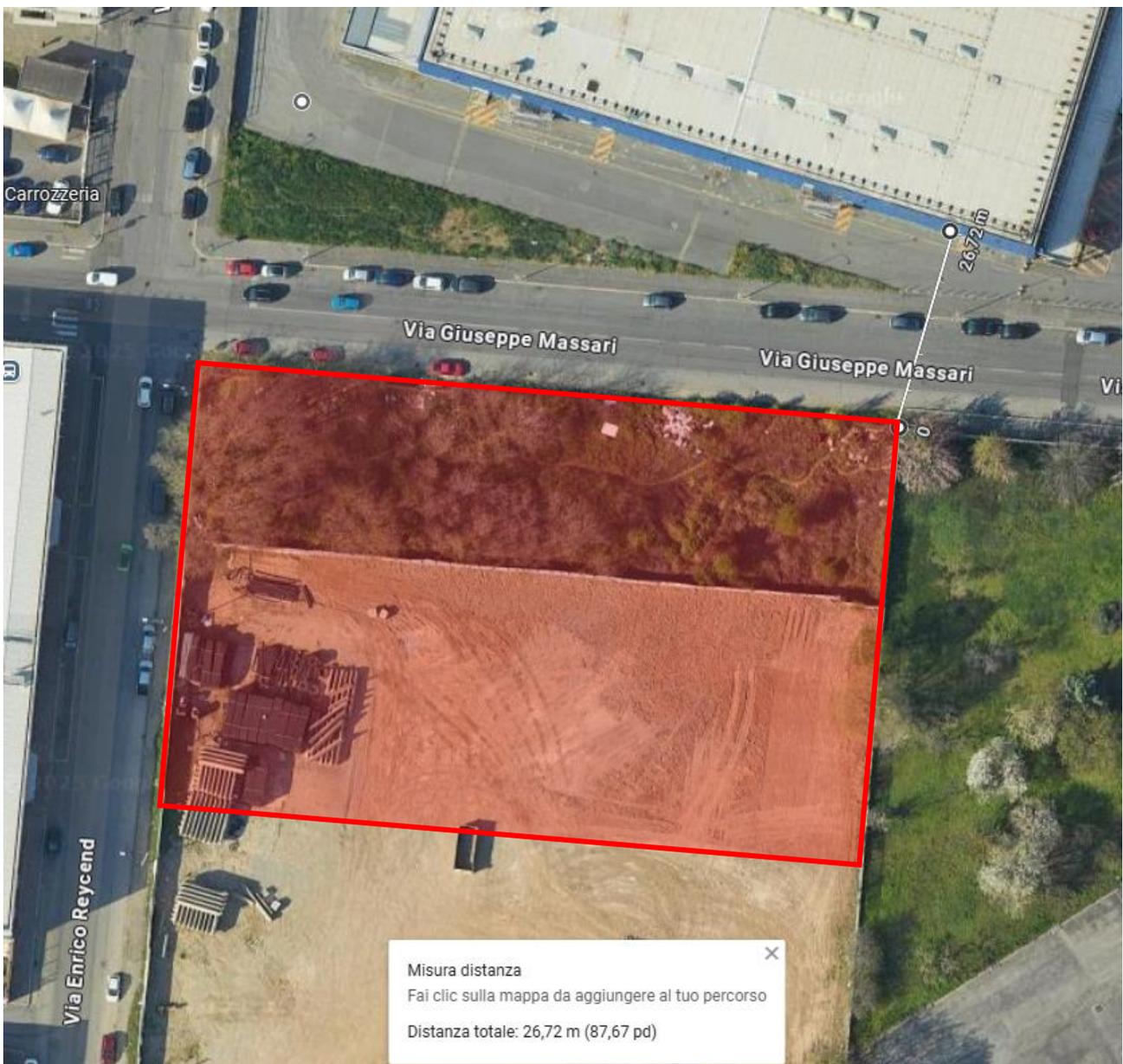


Fig. 13: Calcolo distanza fabbricato più vicino da confine su via Massari.

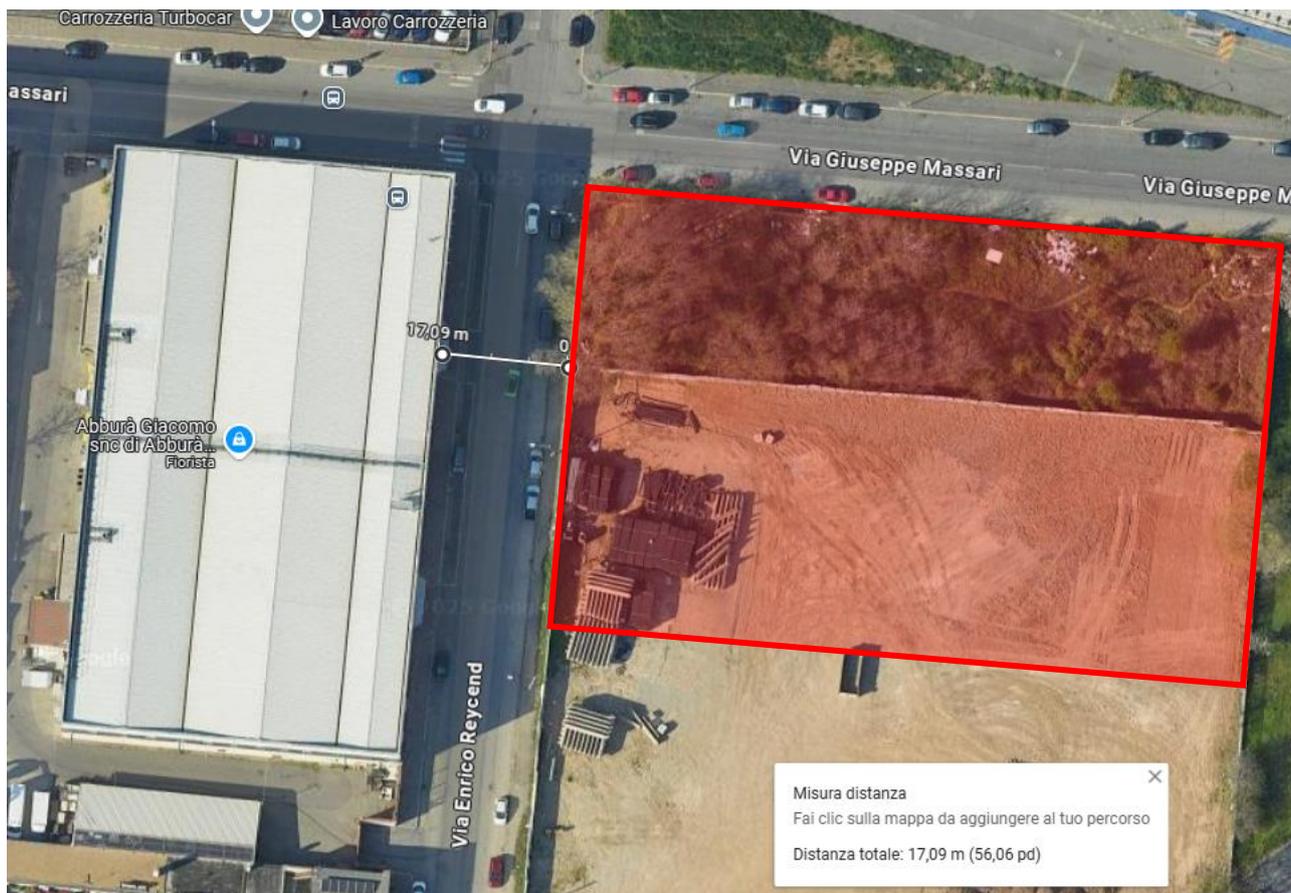


Fig. 14: Calcolo distanza fabbricato più vicino da confine su via Reycend.

6.2 ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO DA EFFETTUARE

6.2.1 Fabbricati adiacenti ai confini lato nord e ovest

Tenuto conto di quanto espresso ai capitoli precedenti e considerate le distanze in gioco dei fabbricati esistenti in prossimità dei lati nord ed ovest a confronto con le profondità degli scavi da eseguire, è lecito ammettere che le lavorazioni previste dal presente appalto non dovrebbero indurre la comparsa di effetti (cedimenti, rotazioni, distorsioni o deformazioni) sugli edifici limitrofi che si affacciano su via Massari e via Reycend, pertanto per essi non si ritiene necessario definire attività di monitoraggio specifiche, ante o in corso d'opera.

6.2.2 Fabbricati adiacenti al confine lato est

Per quanto concerne il muro di recinzione presente sul confine est, invece, si dovranno invece prevedere attività di monitoraggio, finalizzate alla verifica che nel corso delle operazioni di scavo e del successivo riempimento non si generino rotazioni del paramento o cedimenti del piede di entità tale da provocarne il danneggiamento o l'instabilizzazione.

Tenuto conto del tipo e dell'importanza del manufatto in esame, le attività di monitoraggio da eseguire potranno essere organizzate come rappresentato in Fig. 15, prevedendo l'impiego di:

- una stazione totale con precisione millimetrica (rappresentata da punti di colore verde in Fig. 15), da collocare all'interno del lotto in una posizione da definire di volta in volta a seconda delle lavorazioni presenti, possibilmente ad una distanza dalle aree direttamente interessate dalle medesime tale da non subirne gli eventuali effetti;
- almeno n. 4 punti di controllo (rappresentati da punti di colore rosso), materializzati da mire ottiche, da collocare all'esterno del lotto su manufatti esistenti in posizione tale da non poter essere facilmente manomessi dalle attività in oggetto o da soggetti terzi (ad es., sui lampioni presenti in via Massari ad una quota opportuna o sulla recinzione esistente nel tratto in cui questa prosegue verso sud), da utilizzare per georeferenziare il rilievo effettuato;
- n. 7 punti di lettura (rappresentati da punti di colore giallo), materializzati sempre da mire ottiche, da collocare al piano estradosso del paramento del muro per massimizzare gli effetti delle eventuali rotazioni, in numero tale da mantenere una distanza reciproca l'una dall'altra pari a 7-8m.



Fig. 15: Individuazione delle attività di monitoraggio.

Le attività di verifica dovranno essere eseguite con una cadenza temporale tale da monitorare nel dettaglio le attività di scavo e di riempimento dei medesimi e, se la Direzione Lavori lo ritiene

necessario, dovranno essere concentrate in prossimità delle lavorazioni principali sul lotto in modo da indagare meglio il comportamento del manufatto in esame.

Tenuto conto delle lavorazioni previste sul lotto, si ritiene congruo prevedere l'esecuzione di un numero di monitoraggi non superiore a 10, di cui almeno 1 ante opera, organizzati ad intervalli regolari con cadenza mensile ed eventualmente infittiti o estesi nel caso le attività di scavo si sviluppino per periodi più lunghi rispetto a quanto previsto dal cronoprogramma.

Le letture effettuate, opportunamente elaborate, dovranno essere comparate con i valori soglia riportati al par. 5.3 e immediatamente condivise con la Direzione Lavori, in modo da permettere a quest'ultima di definire, se necessario, eventuali modifiche allo sviluppo delle lavorazioni previste e/o di progettare eventuali interventi di rinforzo sul manufatto oggetto di monitoraggio.