



## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>6</b>
2.1	Normative e raccomandazioni.....	6
<b>3</b>	<b>MONITORAGGIO: STRUMENTAZIONE, VALORI SOGLIA E MODALITÀ DI GESTIONE DEI DATI</b> .....	<b>7</b>
3.1	Definizione e gestione dei valori soglia.....	7
3.2	Monitoraggio tenso-deformativo in fase di scavo e a lungo termine.....	8
3.2.1	Schema di monitoraggio .....	8
3.2.2	Descrizione della strumentazione .....	9
3.2.3	Frequenze delle letture.....	9
3.3	Valori di soglia e gestione dei dati.....	10
3.3.1	Determinazione dei valori di soglia .....	10
3.3.2	Stazione di monitoraggio delle convergenze .....	12
3.3.3	Stazione di monitoraggio del rivestimento di prima fase.....	16
3.3.4	Monitoraggio del rivestimento definitivo.....	18
3.3.5	Monitoraggio subsidenze a piano campagna .....	20
<b>4</b>	<b>RILIEVI GEOLOGICI E GEOMECCANICI DEL FRONTE</b> .....	<b>22</b>
4.1	Rilievi analitici.....	22
4.2	Rilievi speditivi.....	23
<b>5</b>	<b>ULTERIORI CONTROLLI IN CORSO D'OPERA</b> .....	<b>24</b>
5.1	Prospezioni in avanzamento.....	24
5.2	Estrusioni ottiche .....	24
5.3	Misure di portata e di pressione della falda .....	24
<b>6</b>	<b>LINEE GUIDA PER LA GESTIONE DEL RISCHIO IN FASE DI SCAVO</b> .....	<b>25</b>
6.1.1	Interventi in presenza di eccessive deformazioni all'interno della galleria .....	25
6.1.2	Interventi in presenza di instabilità del fronte di scavo .....	25
6.1.3	Interventi in presenza di eccessivi cedimenti del piano stradale .....	26
<b>7</b>	<b>CARATTERISTICHE TECNICHE STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO</b> .....	<b>27</b>
7.1	Caposaldi di livellazione .....	27
7.2	Mire ottiche per la misura dello spostamento.....	27
7.3	Strain gauges .....	27
7.4	Celle di carico .....	28
<b>8</b>	<b>ALLEGATO: CONVERGENZE</b> .....	<b>29</b>



## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione è parte integrante della documentazione di Progettazione Esecutiva delle “Nuove opere di regolazione per la messa in sicurezza del Lago d’Idro” ed in particolare ha in oggetto le indicazioni progettuali relativamente al programma di monitoraggio in corso d’opera della galleria idraulica.

Lo scavo di gallerie con bassa copertura in terreni sciolti provoca necessariamente un disturbo nel terreno, inducendo cedimenti inevitabili (di entità variabile in funzione della profondità della galleria dal piano campagna originario, delle caratteristiche geotecniche dei terreni, ecc.) nei fabbricati e nelle strutture ricadenti nell’area di influenza dello scavo. Per tale ragione, la realizzazione di strutture interrato in simili contesti richiede un’analisi delle problematiche legate agli scavi. Tali effetti devono essere valutati e, ove necessario, mitigati in maniera preventiva, mantenendo sotto osservazione il loro evolversi attraverso un accurato monitoraggio dei fenomeni tenso-deformativi sul terreno e sulle strutture, ponendo eventualmente in opera le contromisure per ricondurre le varie situazioni entro i limiti previsti.

Le analisi degli effetti indotti dallo scavo della galleria in oggetto hanno permesso di definire il presente piano di monitoraggio in modo da poter verificare, in corso d’opera, le previsioni di progetto e modificare, qualora necessario, le modalità di scavo, per rispettare i limiti individuati per le interferenze sensibili, relativamente a:

- cedimenti indotti sulla superficie topografica dalle operazioni di scavo;
- effetti indotti al fronte ed al contorno della galleria dalle operazioni di scavo.

Le operazioni di monitoraggio consentono, quindi, la validazione dei parametri utilizzati per la definizione dei metodi di stabilizzazione dello scavo e permettono di confermare le scelte effettuate oppure di apportare le necessarie modifiche, in modo da poter gestire in anticipo gli eventuali imprevisti legati allo scavo. A tal fine, è necessario predefinire valori soglia dei parametri chiave, la cui comparazione con i risultati del monitoraggio dovrà permettere l’applicazione di opportune contromisure, assicurando la sicurezza dello scavo, delle persone, delle strutture circostanti.

La metodologia adottata segue il principio di progettazione “osservazionale”, correntemente applicato nel campo dell’ingegneria geotecnica e per le opere in sotterraneo (vedi Figura 1).

Tale metodo prevede il controllo sistematico dei lavori attraverso un piano di monitoraggio dei parametri che influenzano il comportamento dell’opera e del terreno circostante, al fine di confrontare le ipotesi di progetto e, dove necessario, adattarle alla situazione locale per garantire le condizioni di sicurezza previste, il rispetto dei tempi di esecuzione e la gestione delle aleatorietà.

Il progetto specifico del sistema di monitoraggio comprende i seguenti elementi:

- definizione dei parametri chiave del monitoraggio;
- definizione delle sezioni tipo di monitoraggio e della tipologia di strumentazione da mettere in opera, sia per le strutture che per i manufatti preesistenti;
- localizzazione delle sezioni tipo e dei manufatti cui applicare le strumentazioni;
- definizione della frequenza delle letture;
- definizione dei valori (limiti) di attenzione e allarme per le grandezze monitorate;
- definizione delle contromisure da attuare in caso di superamento dei valori di allarme definiti.

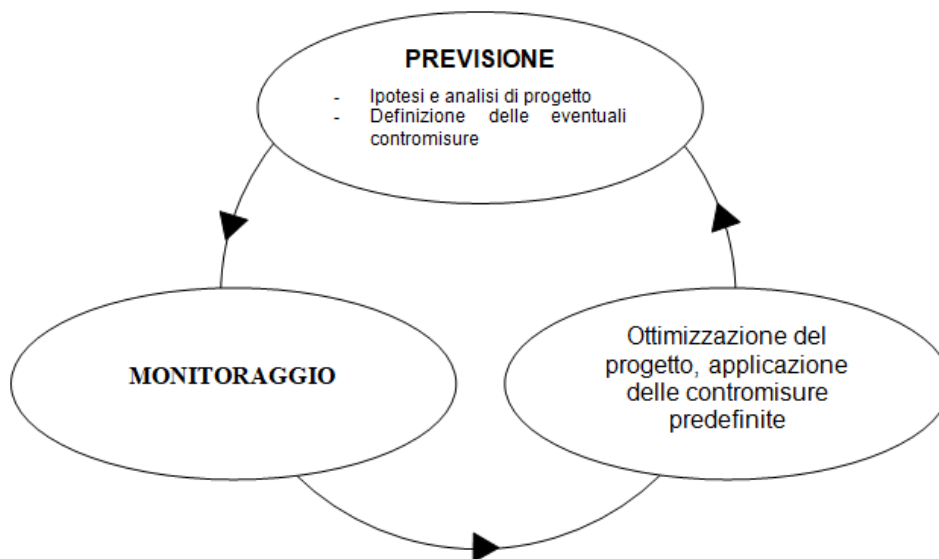


Figura 1 – Diagramma di flusso relativo alla metodologia di progettazione flessibile

La relazione è articolata secondo la seguente struttura:

- Capitolo 2: documenti di riferimento;
- Capitolo 3: monitoraggio: strumentazione, valori soglia, modalità di gestione dei dati;
- Capitolo 4: linee guida per la gestione del rischio in fase di scavo;
- Capitolo 5: caratteristiche tecniche della strumentazione di monitoraggio.

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normative e raccomandazioni

I calcoli e le disposizioni esecutive sono conformi alle norme attualmente in vigore e nel seguito elencate:

- Legge 05/11/1971 n.1086 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- D.M. 17 gennaio 2018: Norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018).
- Circolare 27 luglio 2019 “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”.
- UNI EN 11104 marzo 2004 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”, Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1.
- UNI EN 1992-1-2 aprile 2005 (EC2 “Progettazione strutturale contro l'incendio”) “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio”.
- UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) – Novembre 2005: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1: Regole generali e regole per edifici”.
- UNI EN 1998-5 gennaio 2005 (EC8) “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”.
- UNI EN 10025-1:2005 – “Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura”.
- UNI EN 10025-2:2005 – “Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 2: Condizioni tecniche di fornitura di acciai non legati per impieghi strutturali”.
- EN 1997 Eurocodice 7 – “Geotechnical Design”.
- AICAP-AGI (2012) – Ancoraggi nei terreni e nelle rocce. Raccomandazioni.
- ACI 440.1 R-06, Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars.
- CNR-DT 203/2006, Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars.

### 3 MONITORAGGIO: STRUMENTAZIONE, VALORI SOGLIA E MODALITÀ DI GESTIONE DEI DATI

Nel seguito sono descritti i sistemi di monitoraggio che dovranno essere predisposti per seguire l'evoluzione del quadro tenso-deformativo nelle opere di sostegno della galleria poste a supporto del contorno dello scavo, nonché sulle infrastrutture interferite all'interno della conca di subsidenza, durante l'avanzamento delle attività di costruzione della galleria, fino alla conclusione dei lavori e all'osservata stabilizzazione delle grandezze monitorate.

Per una più razionale descrizione del sistema da predisporre in cantiere, il sistema di monitoraggio è stato raggruppato in 2 diversi sottosistemi:

- monitoraggio delle opere di sostegno provvisoria e definitiva della galleria poste al contorno dello scavo: esso permette di acquisire informazioni circa lo stato tenso-deformativo del terreno al contorno della galleria e dei sistemi di sostegno provvisoria e definitivi in fase di scavo;
- monitoraggio delle subsidenze a piano campagna delle infrastrutture interferenti con la galleria nella zona di imbocco lato Lavenone, al fine di verificare che gli spostamenti indotti in asse stradale siano compatibili con il mantenimento dell'integrità infrastrutturale dell'opera esistente.

#### 3.1 Definizione e gestione dei valori soglia

La possibilità di controllo delle operazioni di scavo si basa sulla definizione di soglie aventi lo scopo di segnalare l'instaurarsi di una particolare situazione tenso-deformativa o l'evolversi di un'altra grandezza monitorata. Sulla base di queste soglie è messa in opera tutta una serie di azioni e misure correttive.

I valori di soglia (definiti in termini di spostamento, deformazione, tensioni, ecc.) sono valori prudenziali di grandezze rappresentative delle condizioni di sicurezza dello scavo e sono stabiliti in fase progettuale sulla base dei risultati delle analisi numeriche condotte per la verifica della stabilità dell'opera. Questi limiti sono definiti come:

- limite di attenzione: è definito come una quota-parte dei valori calcolati in progetto. Il superamento di questo limite implica l'incremento della frequenza delle misure, allo scopo di stabilire e monitorare la velocità con la quale il fenomeno si evolve in modo da valutare il potenziale instaurarsi di fenomeni ad evoluzione rapida che potrebbero, in particolari situazioni, divenire potenzialmente incontrollabili;
- limite di allarme: è definito in funzione del livello più gravoso per una determinata misura, potenzialmente critico per le condizioni di sicurezza, qualora la sua evoluzione nel tempo non fosse rallentata o arrestata totalmente.

Una soglia di "attenzione" rappresenta, quindi, un valore sufficientemente prudente di un parametro di misura che, pur non rappresentando un pericolo immediato per le persone e le strutture, obbliga ad attivare una serie di procedure (di controllo ed eventuali azioni progettuali), volte a produrre un rientro nella norma o, quanto meno, a scongiurare la tendenza dei valori di misura verso la soglia di allarme.

Una soglia di "allarme" è un valore di un parametro di misura che può rappresentare un potenziale pericolo per le strutture monitorate, obbliga ad attivare una serie di procedure (di controllo e/o azioni progettuali) volte a produrre un rientro nella norma o, quanto meno, a scongiurare la tendenza dei valori di misura ad ulteriore significativa crescita.

Al raggiungimento della soglia di “allarme” l’arresto delle lavorazioni sarà predisposto nel caso in cui l’evoluzione del quadro delle grandezze monitorate mostri una progressione sistematica, non compatibile con la sicurezza dello scavo o delle preesistenze al contorno. Si ritiene necessario evidenziare che il superamento puntuale di un valore di attenzione/allarme di un parametro può essere da solo di poca importanza, perché dovuto per esempio a cause locali, e solo un attento esame di tutti i dati provenienti dall’intero “volume di controllo” e, soprattutto, l’evolversi nel tempo di tali valori, potrà dare un quadro coerente degli eventuali fenomeni in atto. Le contromisure da adottare in caso di superamento dei limiti di allarme hanno lo scopo di riportare la situazione reale entro i limiti previsti in progetto e dovranno essere intraprese quando l’insieme delle letture effettuate e delle evidenze raccolte mostrino una tendenza ad evolversi in modo sfavorevole verso situazioni di potenziale criticità/pericolo all’interno dello scavo o all’esterno, con particolare riguardo per le strutture/preesistenze di superficie poste nelle immediate vicinanze dello scavo.

## 3.2 Monitoraggio tenso-deformativo in fase di scavo e a lungo termine

### 3.2.1 Schema di monitoraggio

Il monitoraggio tenso-deformativo al contorno della galleria e sulle opere di presidio avviene attraverso l’installazione di sezioni tipo strumentate per la misura degli spostamenti lungo il profilo di scavo, delle tensioni indotte negli elementi strutturali di pre-rivestimento e del rivestimento definitivo quando installato e degli spostamenti a piano campagna.

Le sezioni di monitoraggio tenso-deformativo sono state divise in:

- stazioni di misura interne alla galleria;
- stazioni di misura esterne alla galleria.

#### Stazioni di misura interne

Le stazioni di misura interne, descritte e rappresentate negli appositi elaborati di progetto, sono state suddivise nelle differenti tipologie descritte nel seguito:

- Stazioni tipo SM1: sono utilizzate per misurare le convergenze al contorno del cavo in fase di avanzamento attraverso la lettura della distanza reciproca lungo le corde delle mire ottiche installate sul pre-rivestimento;
- Stazioni tipo SM2: utilizzate per la misura delle tensioni nel rivestimento di prima fase attraverso barrette estensimetriche saldate sulle ali delle centine e celle di carico posizionate ai piedi delle centine;
- Stazioni tipo SM3: utilizzate per la misura delle tensioni nel rivestimento definitivo attraverso coppie di barrette estensimetriche saldate all’armatura.

#### Stazioni di misura esterne

Lo stato deformativo a piano campagna in corrispondenza dell’imbocco lato Lavenone è rilevato attraverso caposaldi di livellazione topografica disposti come indicato negli appositi elaborati di progetto.

In particolare, saranno disposti dei capisalidi di livellazione topografica ad asse stradale; questi ultimi, saranno posizionati ad una distanza l’uno dall’altro e per una lunghezza a destra e a sinistra a partire dall’asse della galleria sufficienti a garantire una rappresentazione esaustiva della curva di subsidenza.



## 3.2.2 Descrizione della strumentazione

Le stazioni di misura tipologiche, illustrate negli elaborati allegati al progetto, sono attrezzate con la seguente strumentazione:

- mire ottiche su chiodi solidali alle strutture di prerivestimento, siano esse le centine metalliche o lo strato di calcestruzzo proiettato, per il controllo degli spostamenti di convergenza;
- barrette estensimetriche per il controllo delle deformazioni lungo le centine metalliche di prerivestimento;
- celle di carico poste a piede centina;
- coppie di barrette estensimetriche per il controllo dello stato tensionale del rivestimento definitivo;
- caposaldi per la livellazione topografica di precisione a piano campagna.

I dettagli relativi alle caratteristiche tecniche della strumentazione da installare sono definiti nel successivo §7.

## 3.2.3 Frequenze delle letture

- Installazione degli strumenti:
  - I capisaldi di livellazione posti al piano campagna dovranno essere posizionati prima dell'avvio delle operazioni di scavo;
  - le mire ottiche all'interno dello scavo verranno posizionate al progredire dello scavo;
  - le barrette estensimetriche e le celle di pressione nel rivestimento provvisorio verranno installate al momento della posa delle centine;
  - le barrette estensimetriche nel rivestimento definitivo verranno installate prima del getto del rivestimento stesso.
- Lettura dello "0": immediatamente dopo l'installazione;
- Frequenza di lettura:
  - *mire ottiche all'interno dello scavo*: 1 lettura al giorno fino a 20 m dal fronte; successivamente 1 lettura alla settimana fino a completa stabilizzazione delle misure; infine 1 lettura ogni 15-30 giorni fino al getto del rivestimento definitivo, per le tratte in cui sono adottate le sezioni Ab, Ac e B0;
  - *mire ottiche all'interno dello scavo*: 1 lettura al giorno fino a 25-30 m dal fronte; successivamente 3 letture alla settimana fino a completa stabilizzazione delle misure; infine 1 lettura alla settimana fino al getto del rivestimento definitivo, per le tratte in cui sono adottate le sezioni B2, B2V, B2P, B2VP, C1, C1P, C2, C2V, Camerone Convergente e Attacco;
  - *capisaldi di livellazione al piano campagna*: 1 lettura al giorno con il fronte di scavo entro  $\pm 20$  m dalla stazione di misura; successivamente 1 lettura ogni 3 giorni con il fronte di scavo entro  $\pm 40$  m dalla stazione di misura; successivamente 1 lettura a settimana fino a completa stabilizzazione delle misure;
  - *monitoraggi rivestimento di prima fase*: 1 lettura al giorno fino a 10 m di distanza della stazione di misura dal fronte; successivamente 1 lettura ogni 3 giorni per distanze dai 10 ai 30 m dal fronte; infine, 1 lettura alla settimana fino a completa stabilizzazione delle misure;
  - *monitoraggio rivestimento definitivo*: letture ogni 4 ore (con centralina di acquisizione automatica), a partire dal momento in cui viene scasserato il concio di CLS, per i primi 28 giorni. Tali letture permetteranno di valutare le deformazioni all'interno della struttura in

concomitanza con i fenomeni di ritiro ed escursione termica tipici del calcestruzzo in fase di maturazione; a partire dal giorno 28 saranno effettuate letture manuali a cadenza settimanale per i primi 2 mesi e mensile per quelli successivi fino a completa stabilizzazione delle letture.

Il programma sopra indicato potrà naturalmente essere intensificato in funzione delle letture effettivamente registrate in sito e della sequenza di fasi operative realizzata in cantiere.

### 3.3 Valori di soglia e gestione dei dati

#### 3.3.1 Determinazione dei valori di soglia

Le operazioni di scavo e la frequenza dei rilievi strumentali saranno regolate in funzione delle soglie di attenzione e di allarme delle grandezze indice riepilogate in Tabella 1.

Tali soglie sono definite in relazione alle previsioni progettuali per ciascuno dei parametri chiave di interesse desunti dalla relazione di calcolo delle opere di scavo, adattando opportunamente il range di riferimento al fine di garantire in corso d'opera un margine di tempo sufficiente a comprendere la reale natura ed entità dei fenomeni in atto e predisporre le contromisure del caso.

PARAMETRI CHIAVE	CONTROLLI	STRUMENTI E MISURE	SOGLIE DI GUARDIA	
			Attenzione	Allarme (*)
CONTROLLO TENSIONI E DEFORMAZIONI AL CONTORNO DELLO SCAVO E IN SUPERFICIE	Controllo deformazioni del cavo	Misure di convergenza	$0.7 D_{\text{calcolo}}$	$1.2 D_{\text{calcolo}}$
	Controllo delle sollecitazioni nelle strutture provvisorie e definitive al contorno dello scavo	Barrette estensimetriche e celle di pressione	$0.7 \sigma_{\text{calcolo}}$	$1.2 \sigma_{\text{calcolo}}$
	Controllo cedimenti superficiali	Livellazione geometrica di superficie	$0.7 \delta$	$1.2 \delta$

Tabella 1 – Soglie di attenzione e di allarme previste

Note:  $D$  è la convergenza di progetto del cavo;

$\sigma$ : tensione di progetto negli elementi strutturali di riferimento;

$\delta$ : subsidenza di progetto

(\*): il raggiungimento di tale soglia implica l'attivazione, con il coinvolgimento e sotto il controllo della D.L., del monitoraggio in continuo e dell'eventuale messa in opera delle contromisure.

Nel seguito saranno indicati i limiti di attenzione e allarme da rispettare per ogni stazione caratteristica di monitoraggio. Per quanto riguarda le contromisure da applicare in caso di superamento di tali valori riferirsi a quanto indicato al Capitolo §6 della presente relazione di monitoraggio.

### 3.3.2 Stazione di monitoraggio delle convergenze

Le stazioni di misura delle convergenze, e comunque della risposta deformativa del cavo, consistono nel rilevamento e restituzione grafica e numerica degli spostamenti nel piano trasversale alla galleria, in direzione verticale e orizzontale, di n°5 punti per ogni stazione di misura, posizionati lungo il profilo della sagoma della galleria (2 sui piedritti, 2 sulle reni, 1 in chiave calotta) e attrezzate con mire ottiche rilevabili mediante strumento topografico di precisione. Le basi di misura sono costituite da prismi cardanici riflettenti e catadiottri, posizionati a ridosso del fronte di scavo alla progressiva della stazione di misura.

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da teodolite e distanziometro elettronico, che misurano le posizioni assolute della base di misura rispetto ad un sistema di riferimento tridimensionale costituito da caposaldi siti in galleria.

## MISURE DI CONVERGENZE A 5 MIRE

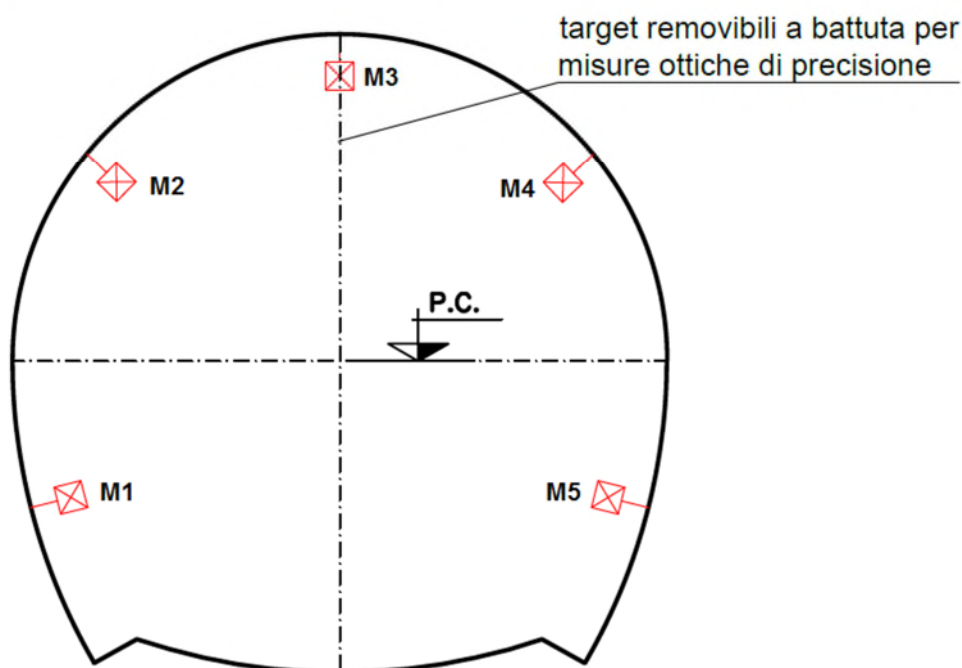


Figura 2 – Schema di posizionamento delle mire ottiche per la misura delle convergenze

Sezione	Corda	Valore di riferimento	Limite di attenzione	Limite di allarme
		[mm]	[mm]	[mm]
Ab	D <sub>1-5</sub>	2.5	1.8	3.0
	D <sub>1-4</sub>	2.2	1.5	2.6
	D <sub>1-3</sub>	2.1	1.5	2.5
	D <sub>2-4</sub>	1.4	1.0	1.7
	D <sub>2-3</sub>	0.9	0.6	1.1

Sezione	Corda	Valore di riferimento	Limite di attenzione	Limite di allarme
		[mm]	[mm]	[mm]
Ac	D <sub>1-5</sub>	5.9	4.1	7.1
	D <sub>1-4</sub>	4.5	3.2	5.4
	D <sub>1-3</sub>	3.7	2.6	4.4
	D <sub>2-4</sub>	2.9	2.0	3.5
	D <sub>2-3</sub>	1.7	1.2	2.0
B0	D <sub>1-5</sub>	5.2	3.6	6.2
	D <sub>1-4</sub>	3.6	2.5	4.3
	D <sub>1-3</sub>	2.8	2.0	3.4
	D <sub>2-4</sub>	2.1	1.5	2.5
	D <sub>2-3</sub>	1.2	0.8	1.4
B2	D <sub>1-5</sub>	12.7	8.9	15.2
	D <sub>1-4</sub>	7.4	5.2	8.9
	D <sub>1-3</sub>	4.6	3.2	5.5
	D <sub>2-4</sub>	3.4	2.4	4.1
	D <sub>2-3</sub>	1.7	1.2	2.0
B2V	D <sub>1-5</sub>	18.6	13.0	22.3
	D <sub>1-4</sub>	10.3	7.2	12.4
	D <sub>1-3</sub>	5.7	4.0	6.8
	D <sub>2-4</sub>	4.6	3.2	5.5
	D <sub>2-3</sub>	2.0	1.4	2.4
B2P	D <sub>1-5</sub>	37.3	26.1	44.8
	D <sub>1-4</sub>	18.6	13.0	22.3
	D <sub>1-3</sub>	9.4	6.6	11.3
	D <sub>2-4</sub>	6.5	4.6	7.8
	D <sub>2-3</sub>	2.6	1.8	3.1
C2	D <sub>1-5</sub>	40.7	28.5	48.8
	D <sub>1-4</sub>	20.6	14.4	24.7
	D <sub>1-3</sub>	10.8	7.6	13.0
	D <sub>2-4</sub>	7.2	5.0	8.6
	D <sub>2-3</sub>	2.8	2.0	3.4
C1	D <sub>1-5</sub>	5.1	3.6	6.1
	D <sub>1-4</sub>	3.2	2.2	3.8
	D <sub>1-3</sub>	1.7	1.2	2.0
	D <sub>2-4</sub>	2.1	1.5	2.5
	D <sub>2-3</sub>	1.0	0.7	1.2
C1P	D <sub>1-5</sub>	23.6	16.5	28.3
	D <sub>1-4</sub>	11.8	8.3	14.2
	D <sub>1-3</sub>	4.9	3.4	5.9
	D <sub>2-4</sub>	5.0	3.5	6.0
	D <sub>2-3</sub>	1.7	1.2	2.0

Tabella 2 – Stazioni di misura SM1 – Controllo deformazioni del cavo (sezioni profonde)

Sezione	Corda	Valore di riferimento	Limite di attenzione	Limite di allarme
		[mm]	[mm]	[mm]
Camerone Convergente	D <sub>1-5</sub>	6.9	4.8	8.3
	D <sub>1-4</sub>	5.0	3.5	6.0
	D <sub>1-3</sub>	10.4	7.3	12.5
	D <sub>2-4</sub>	±2.1	±1.5	±2.5
	D <sub>2-3</sub>	0.5	0.4	0.6
Attacco Lavenone	D <sub>1-5</sub>	4.9	3.4	5.9
	D <sub>1-4</sub>	2.4	1.7	2.9
	D <sub>1-3</sub>	2.0	1.4	2.4
	D <sub>2-4</sub>	0.4	0.3	0.5
	D <sub>2-3</sub>	0.4	0.3	0.5

Tabella 3 – Stazioni di misura SM1 – Controllo deformazioni del cavo (sezioni superficiali)

Per la rappresentazione delle convergenze si rimanda all'Allegato riportato al Capitolo §8 nel fondo della presente relazione di monitoraggio.

Sarà importante, in corso d'opera, rispettare l'ubicazione delle mire secondo lo schema illustrato in Figura 2, in caso contrario i valori di convergenza rilevati non sarebbero confrontabili con i valori progettualmente attesi e perderebbero di significato.

Fermo restando che l'effettiva distribuzione delle stazioni potrà essere modulata in funzione del reale comportamento dell'ammasso, le stazioni stesse andranno indicativamente installate secondo le frequenze riportate nel profilo geotecnico-geomeccanico e di monitoraggio allegate al progetto.

Nei tratti consolidati che prevedono campi di scavo, le stazioni di convergenza andranno convenzionalmente installate al termine di ogni campo di scavo stesso tra la penultima e l'ultima centina del campo, con immediata lettura di zero, in modo da permettere la misura della risposta deformativa del cavo nel campo successivo.

Nei tratti non consolidati ciascuna stazione di misura viene posizionata in prossimità del fronte di scavo, in particolare a circa 1-3 m dal fronte stesso, con immediata lettura di zero.

Il sistema di elaborazione dati deve offrire i seguenti diagrammi e tabulati numerici, in funzione del tempo e della distanza dal fronte:

- spostamenti nel piano (deformata);
- spostamenti trasversali dei singoli punti;
- spostamenti verticali dei singoli punti;
- spostamenti longitudinali dei singoli punti;
- convergenza delle corde;
- velocità di convergenza (mm/giorno).

I dati elaborati per ciascuna stazione di misura, vanno forniti entro la giornata in cui è stato eseguito il rilievo, permettendo l'archiviazione degli stessi anche su supporto informatico.

Dovrà essere sempre indicato l'andamento nel tempo del fronte di scavo (avanzamento) e dei getti dei rivestimenti definitivi, (arco rovescio, murette e calotta) in modo da poterle mettere immediatamente in relazione con le convergenze misurate.

### 3.3.3 Stazione di monitoraggio del rivestimento di prima fase

Tali stazioni di monitoraggio sono costituite da:

- n°3 coppie di barrette estensimetriche da saldarsi sulle ali delle centine;
- n°2 celle di carico poste sotto il piede delle centine.

## SEZIONE TIPO "A" STAZIONE STRUMENTATA (fase di scavo)

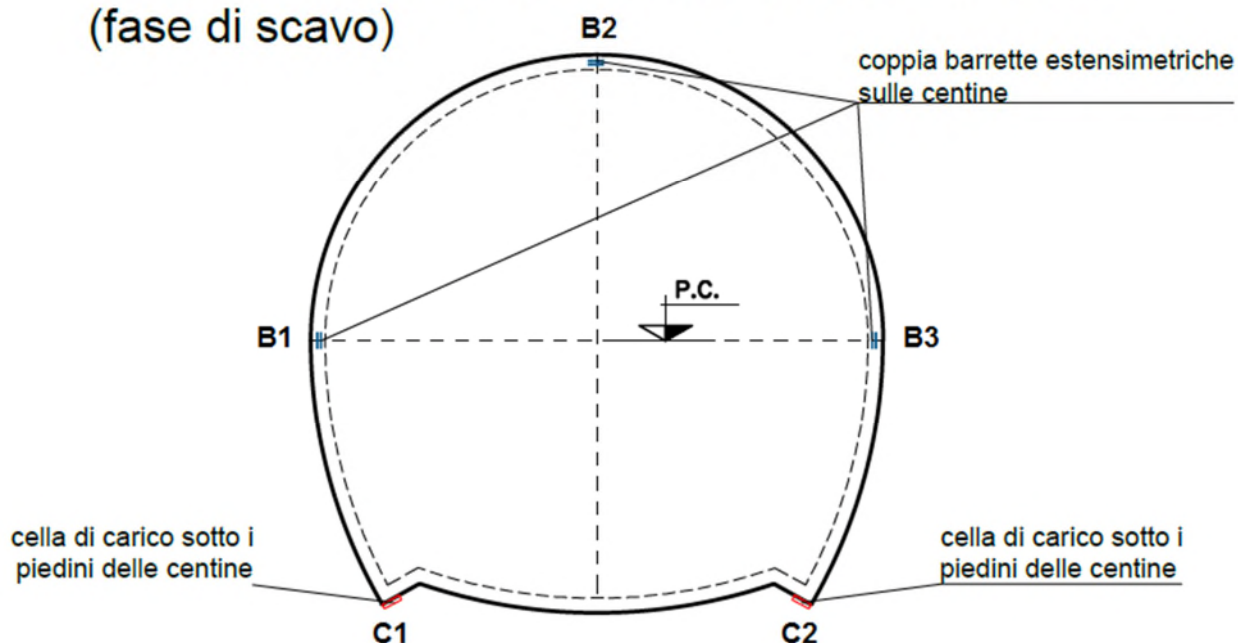


Figura 3 – Schema di posizionamento delle barrette estensimetriche e delle celle di carico nel rivestimento provvisorio

Sezione	Punto	Valore di riferimento	Limite di attenzione	Limite di allarme
		[MPa]	[MPa]	[MPa]
Ac	B <sub>1/3</sub>	95	65	115
	B <sub>2</sub>	105	75	125
	C <sub>1/2</sub>	125	90	150
B0	B <sub>1/3</sub>	65	45	80
	B <sub>2</sub>	65	45	80
	C <sub>1/2</sub>	90	65	110
B2	B <sub>1/3</sub>	125	90	150
	B <sub>2</sub>	95	65	115
	C <sub>1/2</sub>	180	125	215
B2V	B <sub>1/3</sub>	115	80	140
	B <sub>2</sub>	110	75	135
	C <sub>1/2</sub>	185	130	220



Sezione	Punto	Valore di riferimento	Limite di attenzione	Limite di allarme
		[MPa]	[MPa]	[MPa]
B2P	B <sub>1/3</sub>	220	155	165
	B <sub>2</sub>	140	100	170
	C <sub>1/2</sub>	180	125	216
C2	B <sub>1/3</sub>	255	180	305
	B <sub>2</sub>	190	135	230
	C <sub>1/2</sub>	205	145	145
C1	B <sub>1/3</sub>	55	40	65
	B <sub>2</sub>	60	45	70
	C <sub>1/2</sub>	70	50	85
C1P	B <sub>1/3</sub>	130	90	155
	B <sub>2</sub>	125	90	150
	C <sub>1/2</sub>	115	80	140
Camerone Convergente	B <sub>1/3</sub>	200	140	240
	B <sub>2</sub>	120	85	145
	C <sub>1/2</sub>	295	205	355
Attacco Lavenone	B <sub>1/3</sub>	35	25	40
	B <sub>2</sub>	30	20	35
	C <sub>1/2</sub>	80	55	95

Tabella 4 – Stazioni di misura SM2 – Controllo delle sollecitazioni nelle strutture provvisorie al contorno dello scavo

### 3.3.4 Monitoraggio del rivestimento definitivo

Tali stazioni di monitoraggio sono costituite da:

- n°3 coppie di barrette estensimetriche da annegarsi nel getto del rivestimento definitivo di calotta;
- n°1 coppia di barrette estensimetriche da annegarsi nel getto del rivestimento definitivo di arco rovescio.

#### SEZIONE TIPO "B" STAZIONE STRUMENTATA (fase di definitiva)

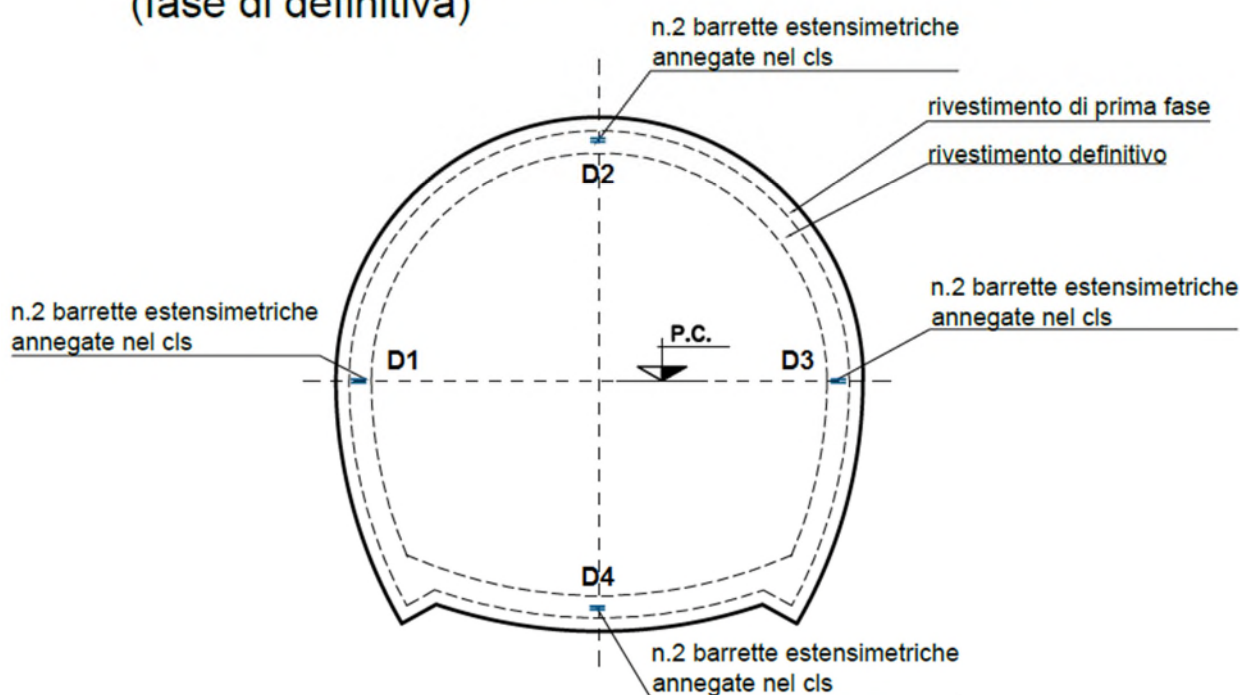


Figura 4 – Schema di posizionamento delle barrette estensimetriche nel rivestimento definitivo

Sezione	Punto (Intradosso)	Valore di riferimento	Limite di attenzione	Limite di allarme
		[kN]	[kN]	[kN]
B0	D <sub>1/3</sub>	440	310	530
	D <sub>2</sub>	415	290	500
	D <sub>4</sub>	320	225	385
B2	D <sub>1/3</sub>	560	390	670
	D <sub>2</sub>	585	410	700
	D <sub>4</sub>	490	345	590
B2V	D <sub>1/3</sub>	760	530	910
	D <sub>2</sub>	800	560	960
	D <sub>4</sub>	580	405	695
C2	D <sub>1/3</sub>	1780	1245	2135
	D <sub>2</sub>	1900	1330	2280
	D <sub>4</sub>	1150	805	1380

Sezione	Punto (Intradosso)	Valore di riferimento	Limite di attenzione	Limite di allarme
		[kN]	[kN]	[kN]
C1	D <sub>1/3</sub>	1510	1055	1810
	D <sub>2</sub>	1525	1070	1830
	D <sub>4</sub>	1410	985	1690
C1P	D <sub>1/3</sub>	1600	1120	1920
	D <sub>2</sub>	1650	1155	1980
	D <sub>4</sub>	1300	910	1560

Tabella 5 – Stazioni di misura SM3 – Controllo delle sollecitazioni nel rivestimento definitivo

### 3.3.5 Monitoraggio subsidenze a piano campagna

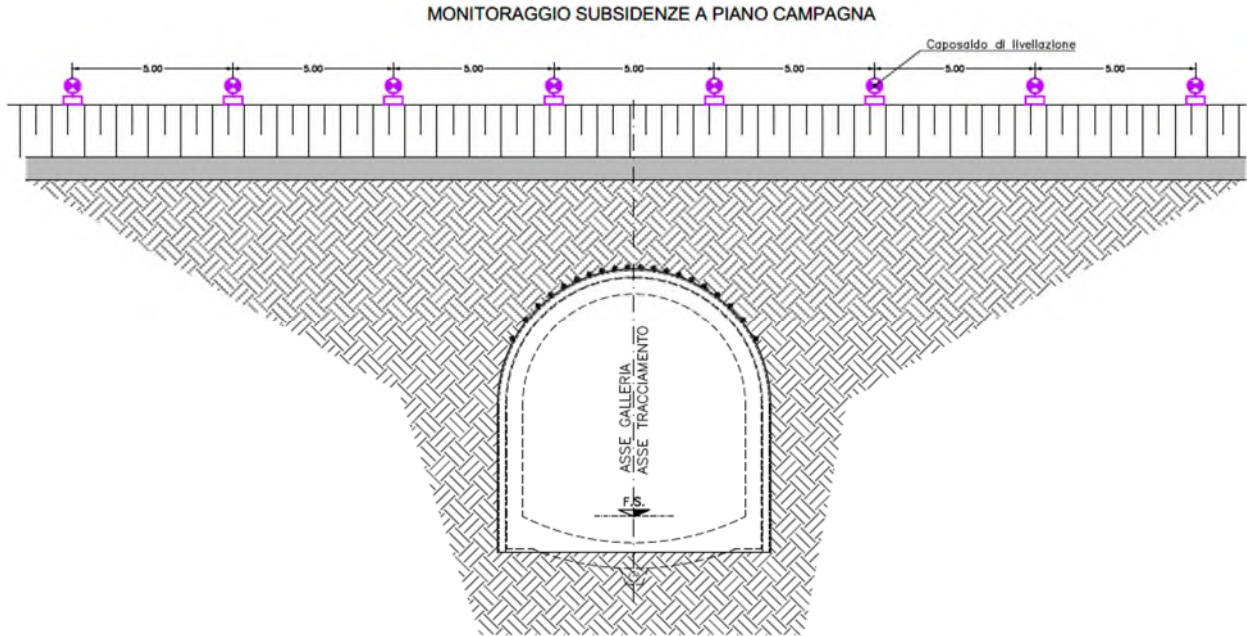


Figura 5 – Esempio schema di posizionamento dei capisaldi di livellazione rispetto all'asse della galleria

Si riporta nella seguente figura la curva di subsidenza ottenuta per la sezione di Attacco (lato Lavenone) che attraversa in fase di scavo una strada in esercizio.

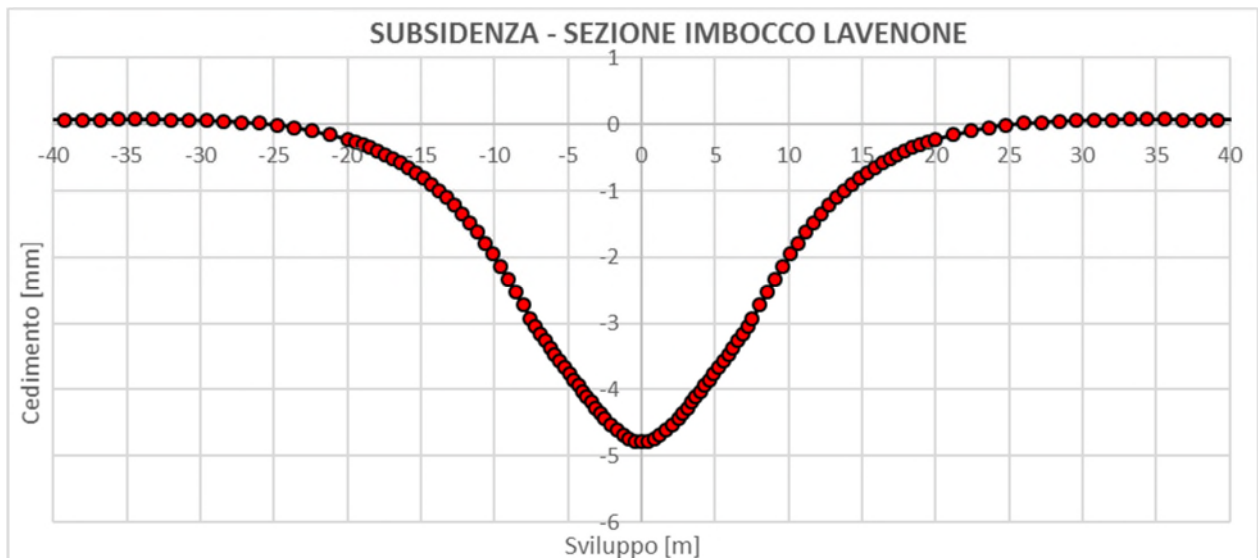


Figura 6 – Subsidenze valutate in fase di modellazione numerica per la sezione di Attacco (lato Lavenone)

Il valore di riferimento da prendere in considerazione per il calcolo dei limiti di attenzione e di allarme è pari a **4.5/5.0 mm** in corrispondenza dell'asse della galleria; pertanto, il *limite di attenzione* è posto a **3.0/3.5 mm** e il *limite di allarme* intorno a **5.5/6.0 mm**.

## 4 RILIEVI GEOLOGICI E GEOMECCANICI DEL FRONTE

I rilievi geologici-geomeccanici del fronte di scavo forniscono informazioni sulle caratteristiche litologiche e sulla classe geomeccanica dell'ammasso (GSI, RMR), sulla matrice roccia (resistenza a compressione  $\sigma_c$ ) e sugli eventuali piani di discontinuità presenti. In funzione del miglioramento o del peggioramento delle caratteristiche dell'ammasso il progettista può in "tempo reale" confermare la sezione tipo adottata o adeguarla in funzione dei risultati forniti dai rilievi.

I rilievi saranno effettuati con due livelli di approfondimento (rilievi analitici e rilievi speditivi).

### 4.1 Rilievi analitici

Il fronte dovrà essere rilevato mediante fotografie e schemi, con precise informazioni su: litologia, facies, elementi strutturali visibili, presenza di acqua e quanto altro definisca le caratteristiche geologiche e geomeccaniche d'insieme dell'ammasso.

La descrizione del fronte dovrà essere accurata per quanto riguarda le seguenti caratteristiche:

- caratteristiche litologiche dell'ammasso;
- caratteristiche geostrutturali delle discontinuità e/o della stratigrafia;
- caratteristiche geomeccaniche quali: classificazione dei diversi tipi di piani di discontinuità e definizione delle caratteristiche dei piani con indicazione di frequenza, spaziatura, lunghezza, persistenza percentuale rispetto all'affioramento, apertura, continuità di apertura in percentuale rispetto alla lunghezza, tipo di terminazione, distanza della terminazione della traccia, scabrezza (JRC), ondulazione e resistenza della parete del giunto (JCS).

La scabrezza (JRC) verrà stimata con pettine di Barton, invece la resistenza della parete del giunto (JCS) con Schmidt Hammer e Point Load Strength Tester.

Nel caso dei terreni o del materiale di riempimento dei giunti rilevare: tipo, granulometria, origine, grado di saturazione e di consistenza; eseguire inoltre dei campionamenti per prove di laboratorio.

Vanno sempre valutate le condizioni idrogeologiche, misurate le portate delle eventuali acque presenti e caratterizzati (ubicazione, geometria e volumi) eventuali blocchi affioranti, in quanto possono essere soggetti a distacchi gravitativi.

#### *Documentazione a corredo dei rilievi analitici*

Sulla base di quanto precedentemente scritto, dovranno essere compilate apposite schede di rilievo, con lo scopo di definire per le rocce i seguenti parametri:

- resistenza a compressione uniassiale  $C_0$ ;
- RQD;
- condizioni idrauliche;
- spaziatura delle discontinuità;
- condizioni delle discontinuità.

Con essi si procederà al calcolo della classe di qualità dell'ammasso, espressa dal parametro RMR oltre che dal parametro GSI.

## 4.2 Rilievi speditivi

Nei rilievi di tipo speditivo, basterà rilevare qualitativamente le caratteristiche litologico-stratigrafico e strutturali dell'ammasso.

Su ogni n°3 rilievi, almeno n°1 dovrà essere di tipo analitico.

Nei tratti dove è previsto il consolidamento, i rilievi andranno effettuati a fine campo di scavo, in modo da permettere la taratura degli interventi del campo successivo.

## 5 ULTERIORI CONTROLLI IN CORSO D'OPERA

### 5.1 Prospezioni in avanzamento

Al fine di poter verificare sistematicamente le condizioni geotecniche-geomeccaniche dell'ammasso in avanzamento, si prevede l'esecuzione di prospezioni in avanzamento costituite da perforazioni a distruzione di nucleo di lunghezza pari ad almeno 2/3 campi. Tale sequenza di perforazioni – come indicato nel profilo geomeccanico allegato al progetto – sarà continua e sistematica nel tratto compreso dall'imbocco lato Lago d'Idro fino al passaggio tra la formazione di Castro Sebino (CSO) e la formazione San Giovanni Bianco in facies evaporitica e dall'imbocco lato Lavenone fino al superamento del nucleo di faglia (una volta incontrata la formazione della Arenarie di Val Sabbia), che costituiscono le parti di galleria più delicate.

Nel tratto in detrito avranno la funzione di verificare lo stato di addensamento in avanzamento, oltre che di misura delle portate e pressioni idrauliche (vedi quanto riportato al §5.3 della presente relazione).

Nel tratto di San Giovanni Bianco facies Terrosa (antecedente alla formazione di Castro Sebino) dovranno permettere di verificare la posizione della zona di faglia individuata dalle indagini sismiche (da PK 0+260 circa a PK 0+310 circa), oltre che individuare la possibile presenza di tratti più scadenti (possibili lenti evaporitiche).

Ogni perforazione sarà attrezzata con sistema DAC-TEST i cui risultati restituiti forniscono indicazioni riguardo a:

- La profondità e la velocità di perforazione;
- La velocità di rotazione e la spinta durante la perforazione;
- La portata e la pressione del fluido di perforazione.

### 5.2 Estrusioni ottiche

È prevista l'installazione di 5 basi ottiche sul fronte di scavo lungo lo sviluppo della galleria prima delle soste di cantiere per il fine settimana o in caso di soste prolungate. Le stesse dovranno essere impiegate tra il completamento di un campo e l'inizio di quello successivo in presenza di rocce di classe V, in corrispondenza di eventuali faglie e laddove le rocce presenti sul fronte di scavo dovessero risultare dal rilievo geomeccanico interessate da elevati gradi di fratturazione.

### 5.3 Misure di portata e di pressione della falda

Tali misure andranno sistematicamente eseguite nel tratto di galleria scavato all'interno dei depositi detritici sottofalda lato Lago d'Idro. A riguardo potrà essere sfruttata la prospezione a distruzione descritta al §5.1. Si potranno – in alternativa – utilizzare anche le perforazioni relative ai consolidamenti.

Su ogni perforazione dovranno essere eseguite misure di portata e, se necessario, eventuali misure di pressione attrezzando i fori con tubi e manometri.



## 6 LINEE GUIDA PER LA GESTIONE DEL RISCHIO IN FASE DI SCAVO

Di seguito, in accordo con i principi del metodo osservazionale, sono delineate le strategie di intervento che potranno essere predisposte in corso d'opera in funzione delle differenti problematiche eventualmente evidenziate dalla strumentazione di monitoraggio descritta nei paragrafi precedenti.

### 6.1.1 Interventi in presenza di eccessive deformazioni all'interno della galleria

Nel caso in cui le convergenze misurate sul profilo dello scavo e a piano campagna in corrispondenza della calotta e delle reni della galleria dovessero superare le soglie di attenzione e mostrare una evoluzione non stabilizzata verso i valori di allarme, le contromisure da predisporre seguiranno lo schema di intervento proposto nel seguito:

- valutazione degli effetti prodotti dall'incremento degli spostamenti sul piano stradale: è possibile che – anche per spostamenti maggiori di quelli prudentemente stimati nelle analisi numeriche – non vi sia interessamento sul piano viabile e quindi un effettivo rischio per la circolazione dei mezzi;
- verifica delle condizioni di appoggio delle centine, del corretto intasamento tra centine e contorno dello scavo;
- verifica della qualità/caratteristiche dei consolidamenti in jet-grouting (diametro reso, caratteristiche di resistenza e deformabilità conformi alle ipotesi di progetto), mediante esecuzione di prove di compressione uniassiale in controllo di deformazione per la misura delle resistenze e dei moduli elastici su campioni estratti dalle colonne eseguite.

Nel caso le verifiche sopra descritte non evidenziassero particolari criticità, ma fossero evidenti incrementi sistematici delle grandezze monitorate, si prenderanno in considerazione le seguenti contromisure:

- incremento del numero e del diametro delle colonne di consolidamento al contorno;
- inserimento di dispositivi tipo Bullflex per garantire una migliore aderenza tra centine e profilo di scavo;
- inserimento della centina puntone in arco rovescio, utilizzando la predisposizione al piede centine di calotta già prevista in progetto.

### 6.1.2 Interventi in presenza di instabilità del fronte di scavo

Nel caso in cui il rilievo geomeccanico al fronte evidenziasse segni di instabilità dello stesso, si effettueranno le seguenti verifiche puntuali:

- prima dell'inizio delle attività di consolidamento del fronte saranno controllati eventuali venute d'acqua dallo stesso;
- prima di procedere con l'avanzamento dello scavo saranno attentamente verificate le schede di iniezione e riprese/integrate le colonne per le quali saranno state evidenziate non conformità di esecuzione;
- analogamente a quanto fatto per i trattamenti al contorno, si controllerà la qualità dei trattamenti in termini di diametro reso e parametri meccanici.

Nel caso di superamento delle soglie di allarme o di evidenti problemi di fessurazione/estrusione/instabilità del fronte di scavo si procederà con le seguenti misure integrative:

- incremento dei trattamenti eseguiti al fronte o incremento della lunghezza di sovrapposizione;
- dove non siano state previste, impiego di armature in VTR per incrementare la resistenza del fronte;
- incremento del numero di dreni al fronte (nell'eventualità di venute d'acqua);
- inserimento della centina puntone in arco rovescio, utilizzando la predisposizione al piede centine di calotta, già prevista in progetto.

### 6.1.3 Interventi in presenza di eccessivi cedimenti del piano stradale

Qualora, al procedere dello scavo dovesse osservarsi una evoluzione sfavorevole dei cedimenti in corrispondenza dell'asse stradale (magari associata a quadri fessurativi del piano stradale stesso) e le contromisure applicate all'interno dello scavo per il rientro nei valori di previsione progettuale non risultassero efficaci, si dovranno esaminare ed eventualmente porre in opera le seguenti contromisure:

- chiusura al traffico dell'infrastruttura stradale;
- prima di procedere con l'avanzamento dello scavo saranno attentamente verificate le schede di iniezione e riprese/integrate le colonne per le quali saranno state evidenziate non conformità di esecuzione.

## 7 CARATTERISTICHE TECNICHE STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO

### 7.1 Caposaldi di livellazione

Per i caposaldi di livellazione a terra di norma si utilizzeranno quelli costituiti da un chiodo in acciaio inox o alluminio reso solidale ad una base di calcestruzzo posta nel terreno e protetto con adeguati pozzetti da realizzare al contorno del caposaldo.

Le misure sono finalizzate alla determinazione della sola componente verticale di movimento (cedimenti) e saranno eseguite con stadia e livello di precisione tale da garantire una risoluzione della misura pari a 0,1 mm. La strumentazione verrà letta manualmente da unità topografiche dedicate.

### 7.2 Mire ottiche per la misura dello spostamento

Il riscontro topografico da utilizzare per il controllo degli spostamenti in galleria è costituito da una barra metallica ad aderenza migliorata di diametro minimo di 14 mm e lunghezza idonea al sito di indagine da ancorarsi in perforazioni mediante resine bicomponenti oppure da saldare direttamente alle centine. La barra di ancoraggio sarà dotata di piastrina metallica che alloggerà il target di misura ad alta rifrangenza.

Le misure si effettueranno manualmente da una unità topografica tramite stazione totale di precisione, con grado di accuratezza pari a  $\pm 1.0$  mm.

### 7.3 Strain gauges

Le barrette estensimetriche con sensore a corda vibrante ed uscita in frequenza (Hz) dotate di termistore per il rilievo della temperatura, sono costituite da un corpo tubolare in acciaio inox della lunghezza di 150 mm, provviste di blocchetti a saldate per garantire il migliore ancoraggio all'elemento strutturale di controllo. Con la posa in opera delle barrette estensimetriche sarà possibile controllare in fase di esercizio la risposta deformativa lungo la direzione di allungamento dello strumento di misura.

Il range di lavoro delle barrette estensimetriche è pari a 3000  $\mu\epsilon$ , ( $\pm 1500 \mu\epsilon$ ). La precisione di misura è minore del 2.0% del fondo scala. Le misure saranno eseguite da tecnico specializzato con idonea centralina di misura portatile.

*Caratteristiche dei sensori:*

- Tipo di sensore strain gauge a corda vibrante dotato di termistore
- Range  $\pm 1500 \mu\epsilon$
- Tipo di segnale frequenza Hz
- Risoluzione 1  $\mu\epsilon$
- Precisione totale < 2.0% del fondo scala
- Campo di temperatura -20 / +80 °C

## 7.4 Celle di carico

Le celle di carico sono state progettate per registrare i carichi sopportati dalle centine (sia al piede che tra le piattabande di giunzione).

Sono essenzialmente costituite da due piatti in acciaio saldati lungo il loro perimetro e separati internamente da una cavità saturata sottovuoto con olio disareato che ne garantisce la massima rigidità. Un trasduttore di pressione elettrico permette di remotizzarne la lettura.

Sono disponibili speciali piastre di distribuzione semi-sferiche che permettono di installare le celle anche tra due superfici non perfettamente parallele.

*Caratteristiche delle celle di carico:*

- Tipo di sensore: elettrico
- Range 1900 kN
- Tipo di segnale mA (4-20)
- Risoluzione < 1% del fondo scala
- Precisione totale < 0.25% del fondo scala
- Campo di temperatura -20 / +80 °C

## 8 ALLEGATO: CONVERGENZE

Si riportano nelle seguenti figure l'andamento delle convergenze ottenute per ogni sezione tipologica al variare delle fasi di calcolo. Per ulteriori approfondimenti in merito alla loro valutazione si rimanda alla relazione tecnica e di calcolo "PE-GAL-000-GE-001-RC-A".

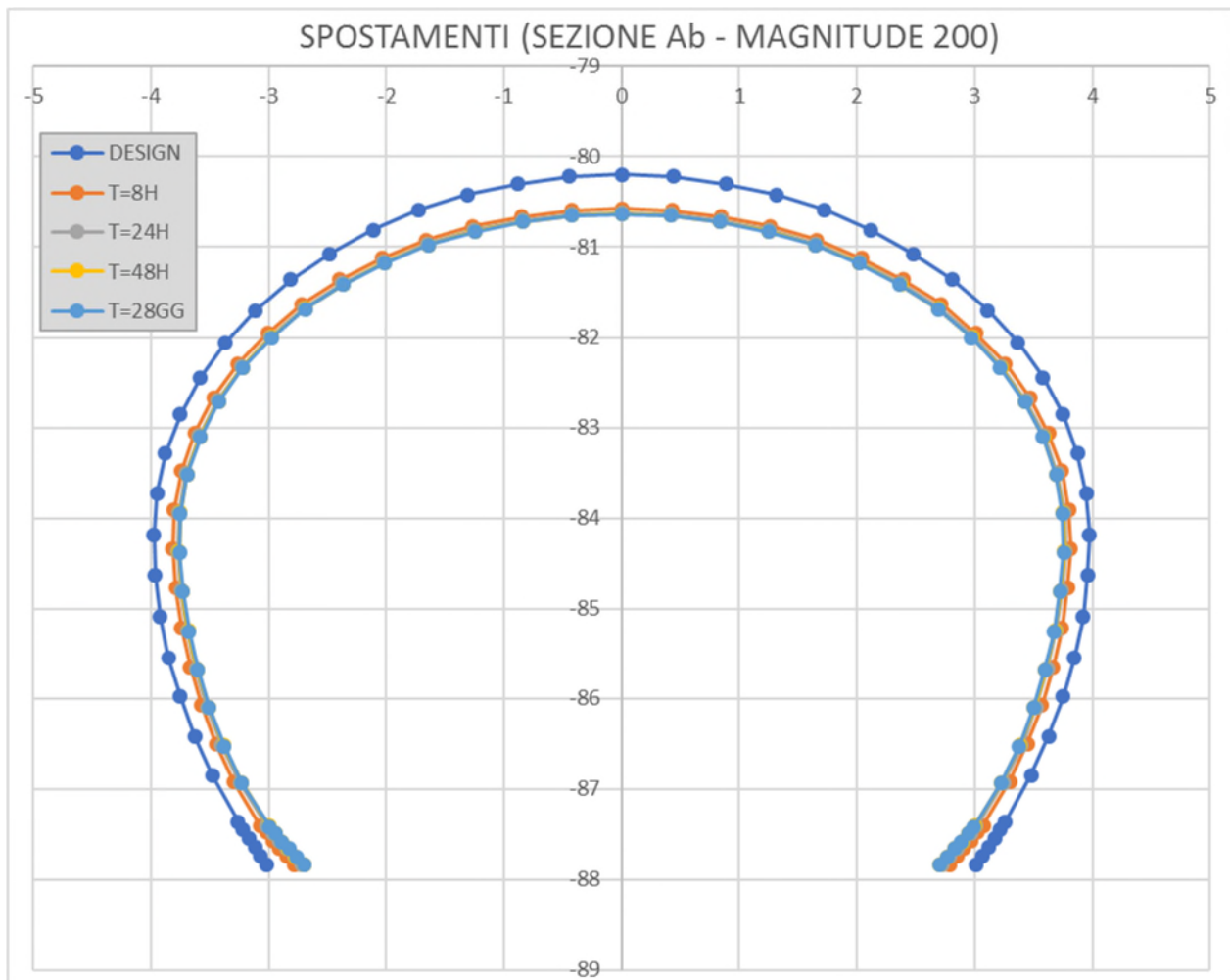


Figura 7 – Convergenze derivanti da analisi numerica della sezione tipologica Ab (spostamenti amplificati di un fattore 200)

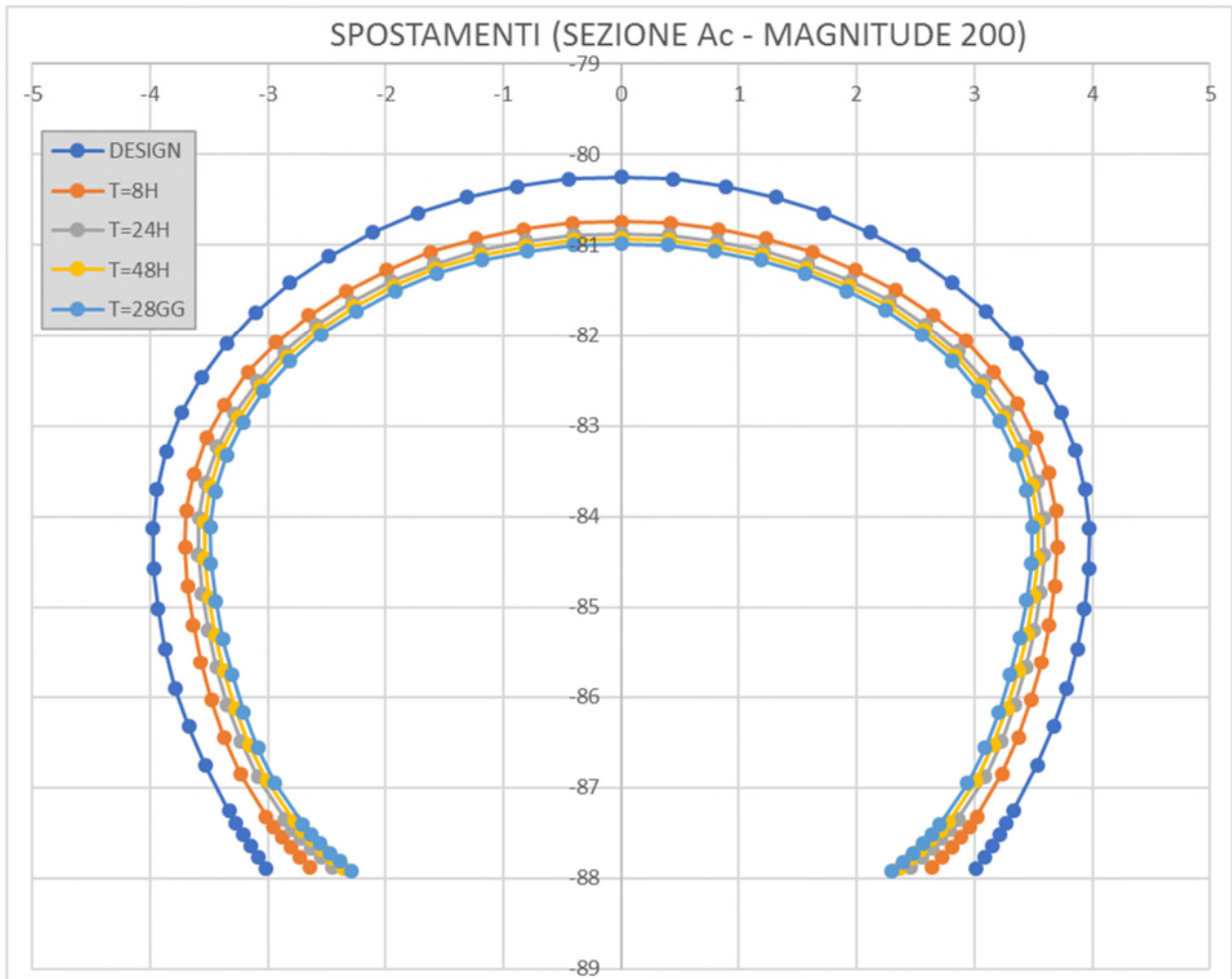


Figura 8 – Convergenze derivanti da analisi numerica della sezione tipologica Ac (spostamenti amplificati di un fattore 200)

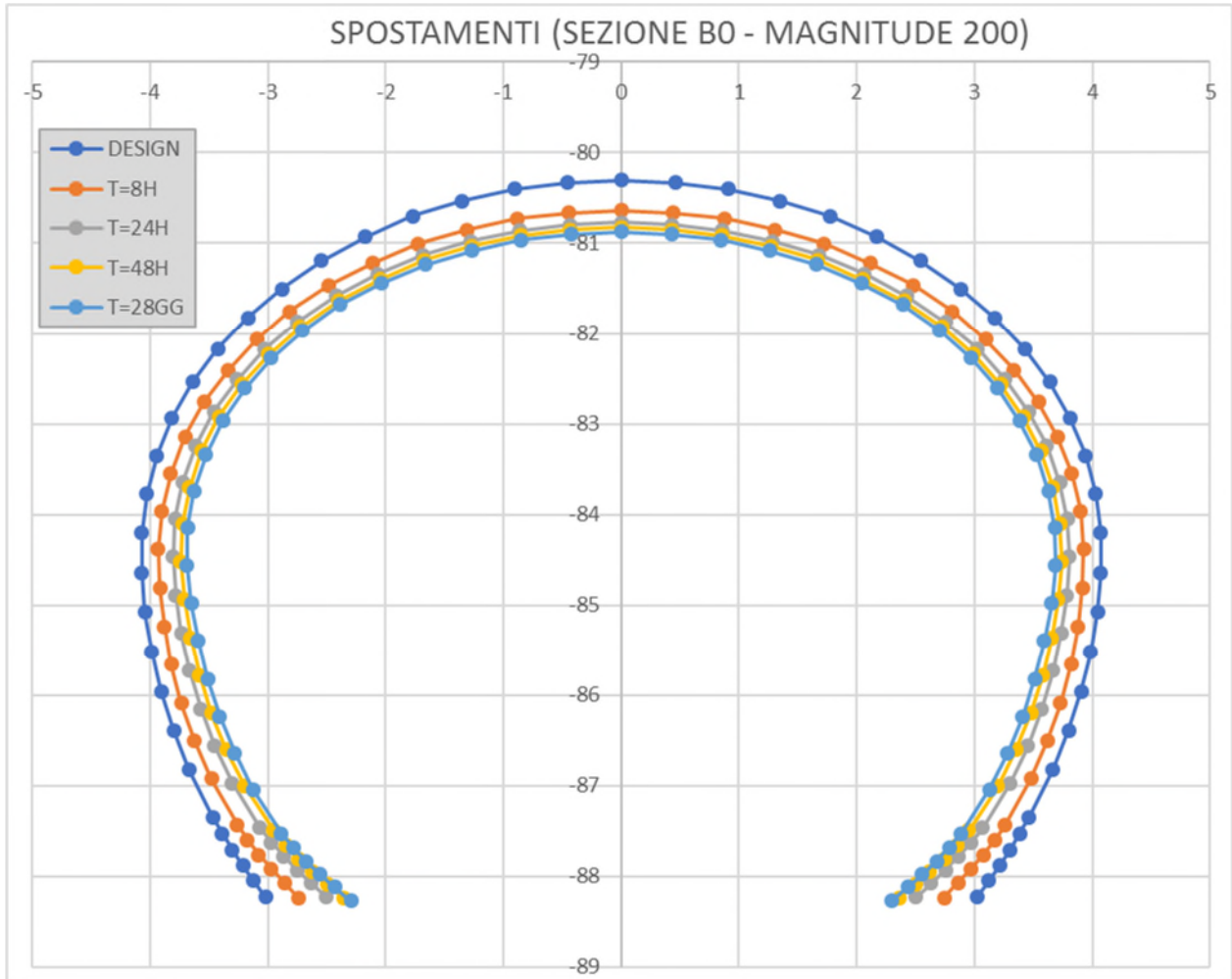


Figura 9 – Convergenze derivanti da analisi numerica della sezione tipologica B0 (spostamenti amplificati di un fattore 200)

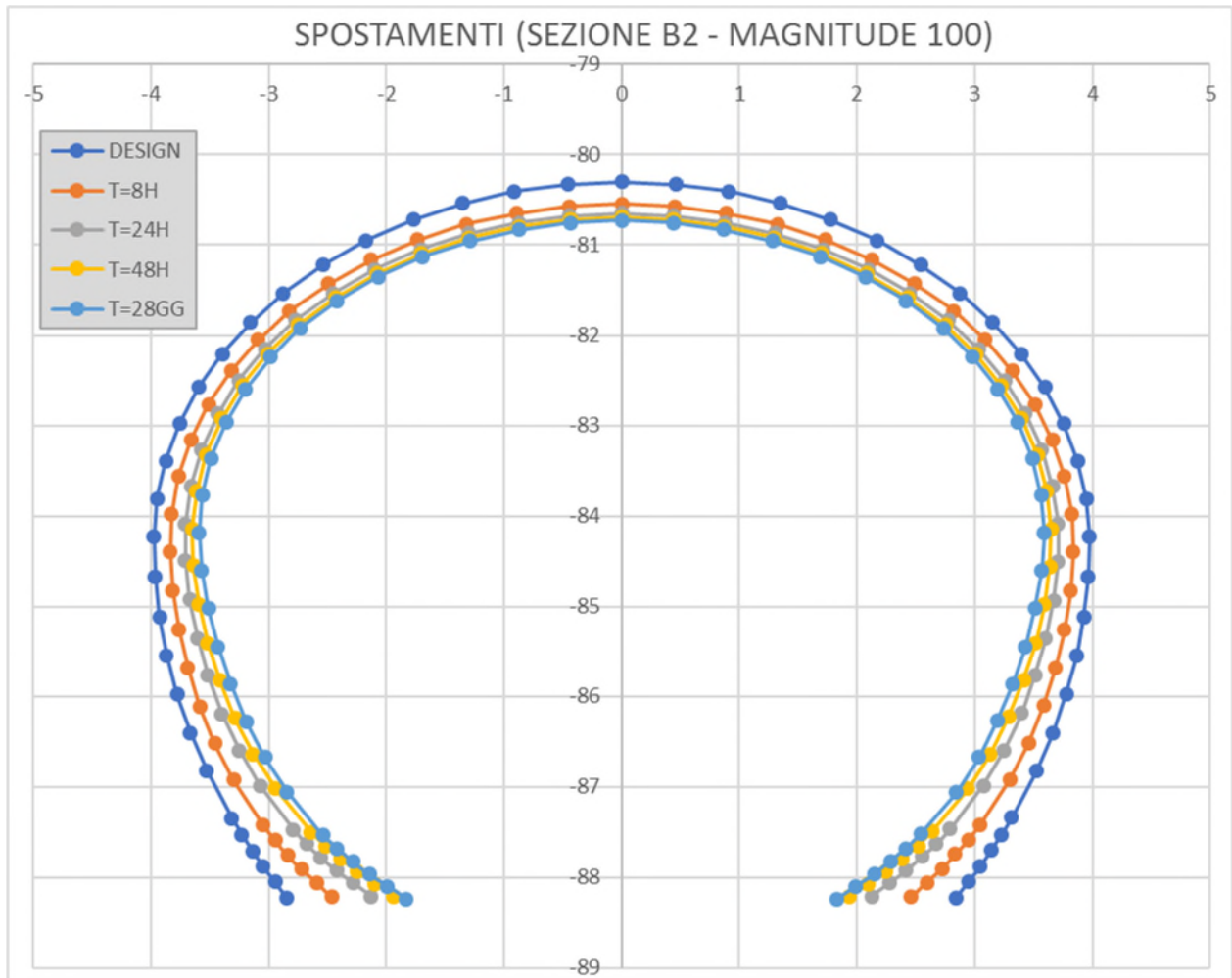


Figura 10 – Convergenze derivanti da analisi numerica della sezione tipologica B2 (spostamenti amplificati di un fattore 100)



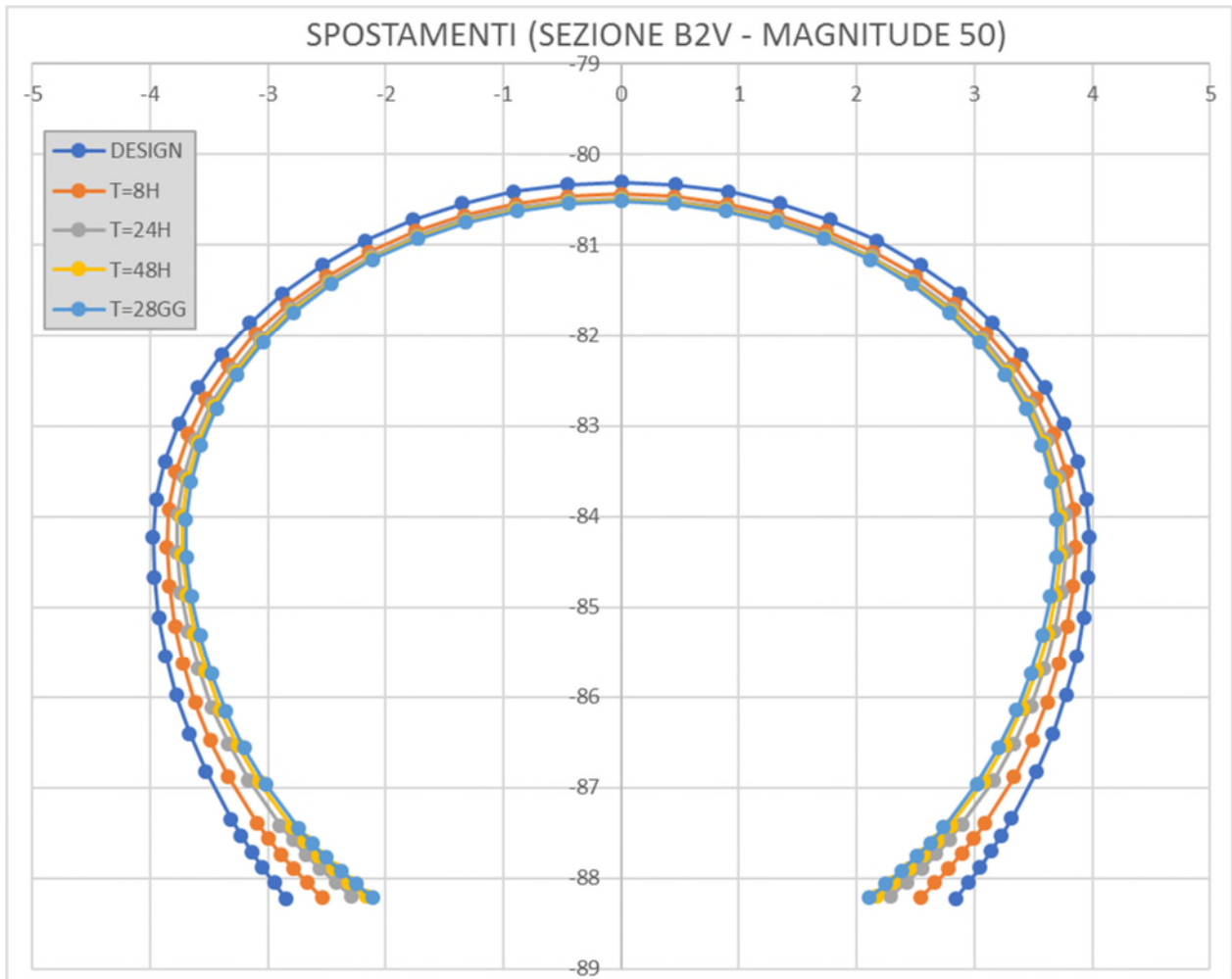


Figura 11 – Convergenze derivanti da analisi numerica della sezione tipologica B2V (spostamenti amplificati di un fattore 50)

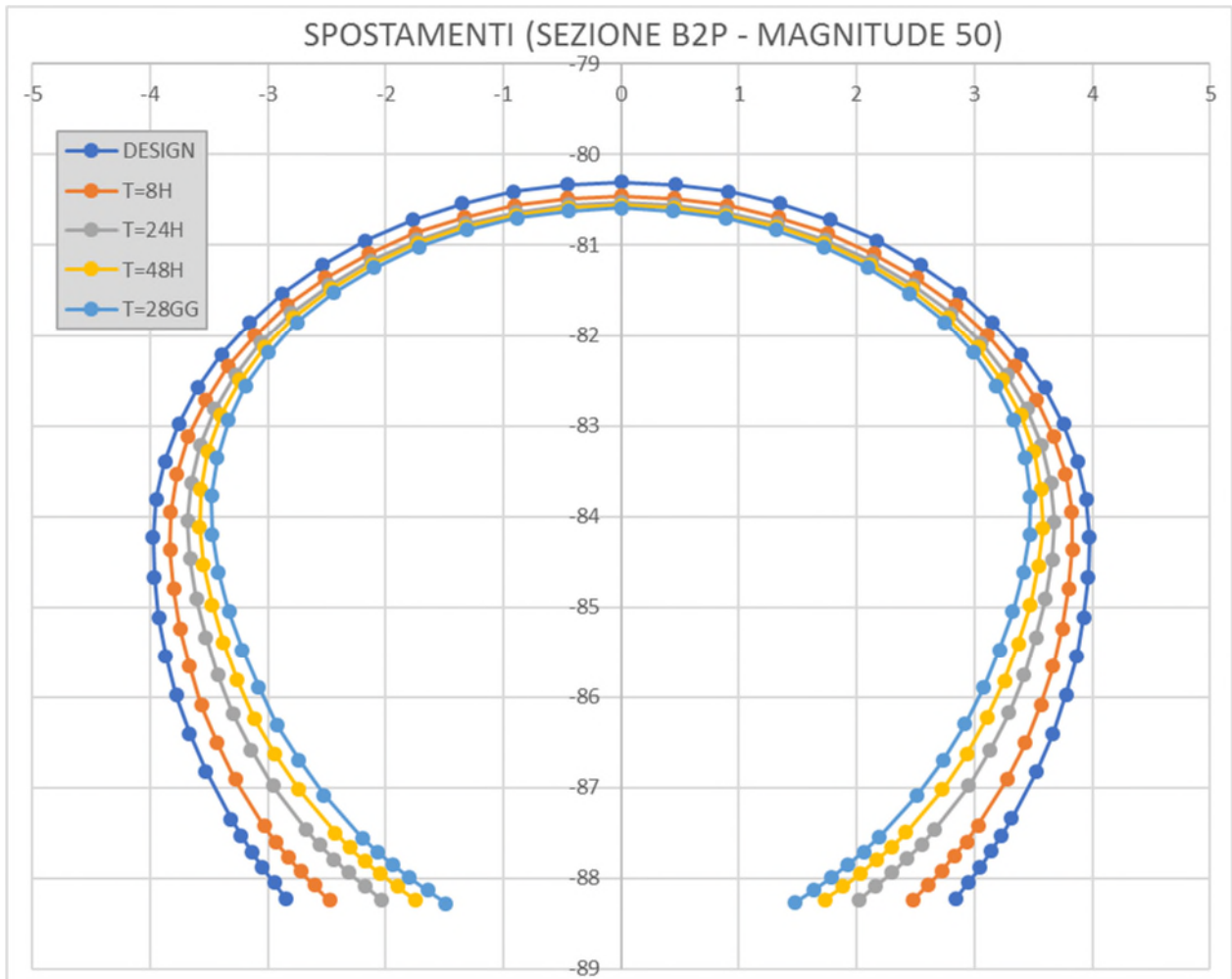


Figura 12 – Convergenze derivanti da analisi numerica della sezione tipologica B2P (spostamenti amplificati di un fattore 50)

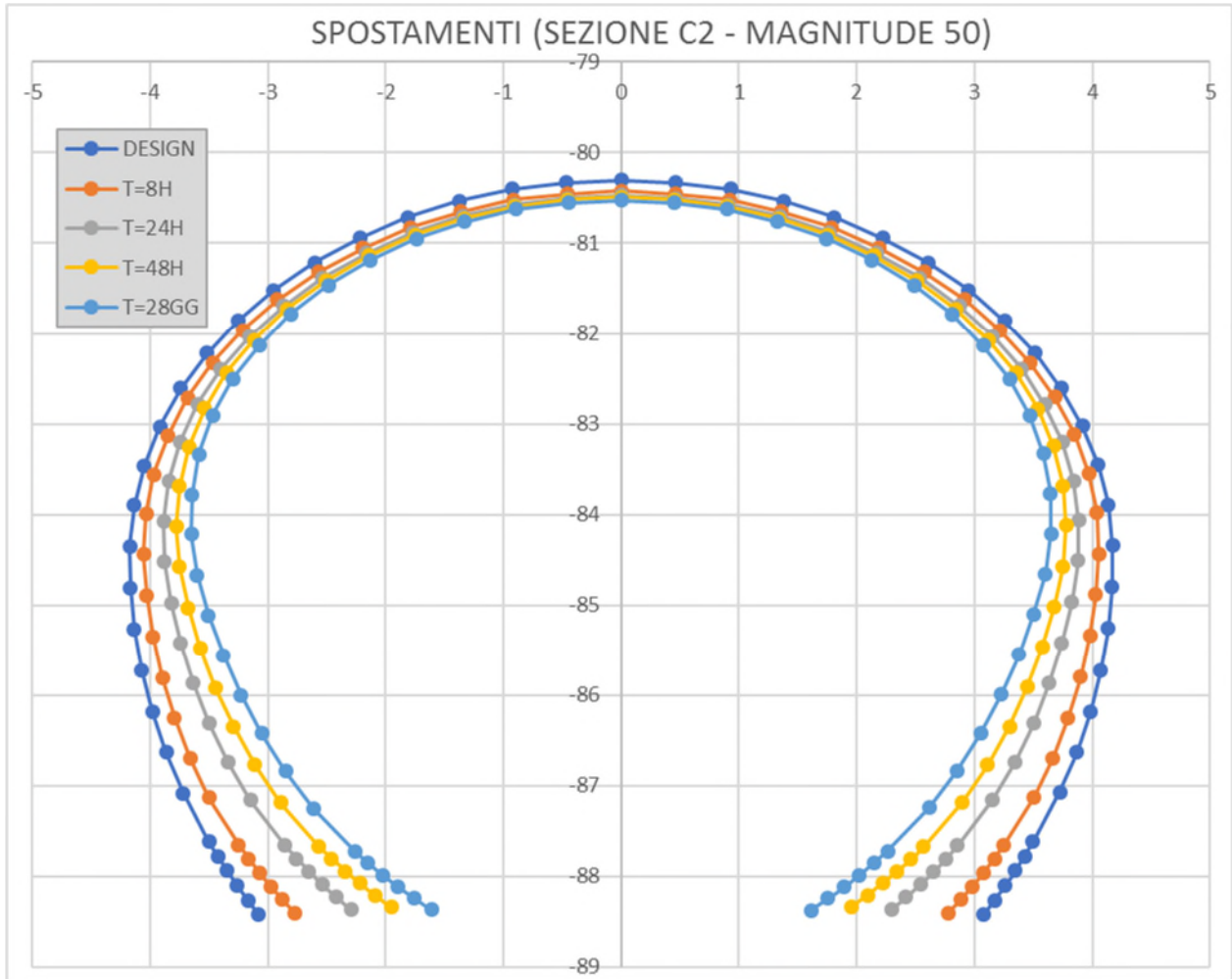


Figura 13 – Convergenze derivanti da analisi numerica della sezione tipologica C2 (spostamenti amplificati di un fattore 50)

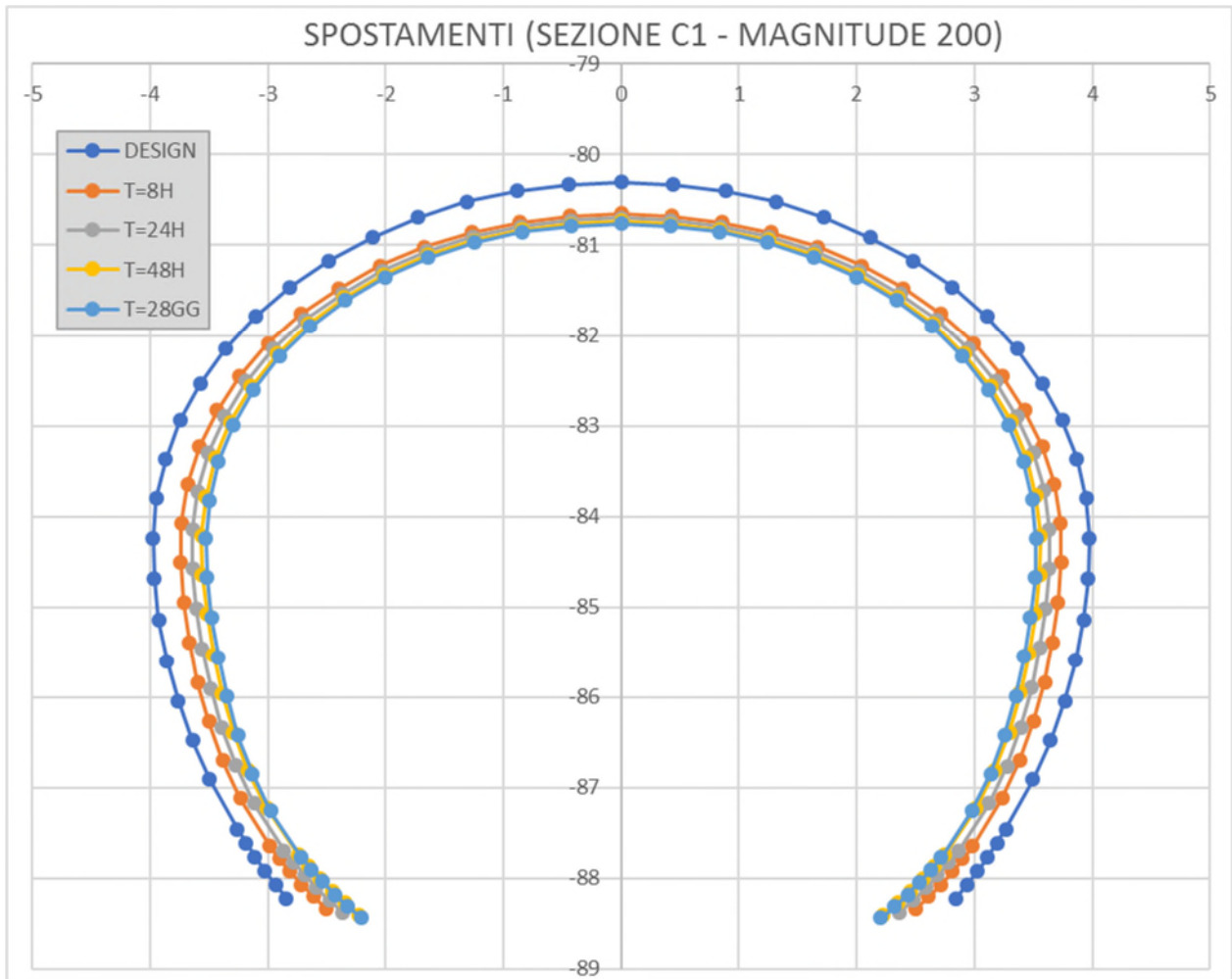


Figura 14 – Convergenze derivanti da analisi numerica della sezione tipologica C1 (spostamenti amplificati di un fattore 200)

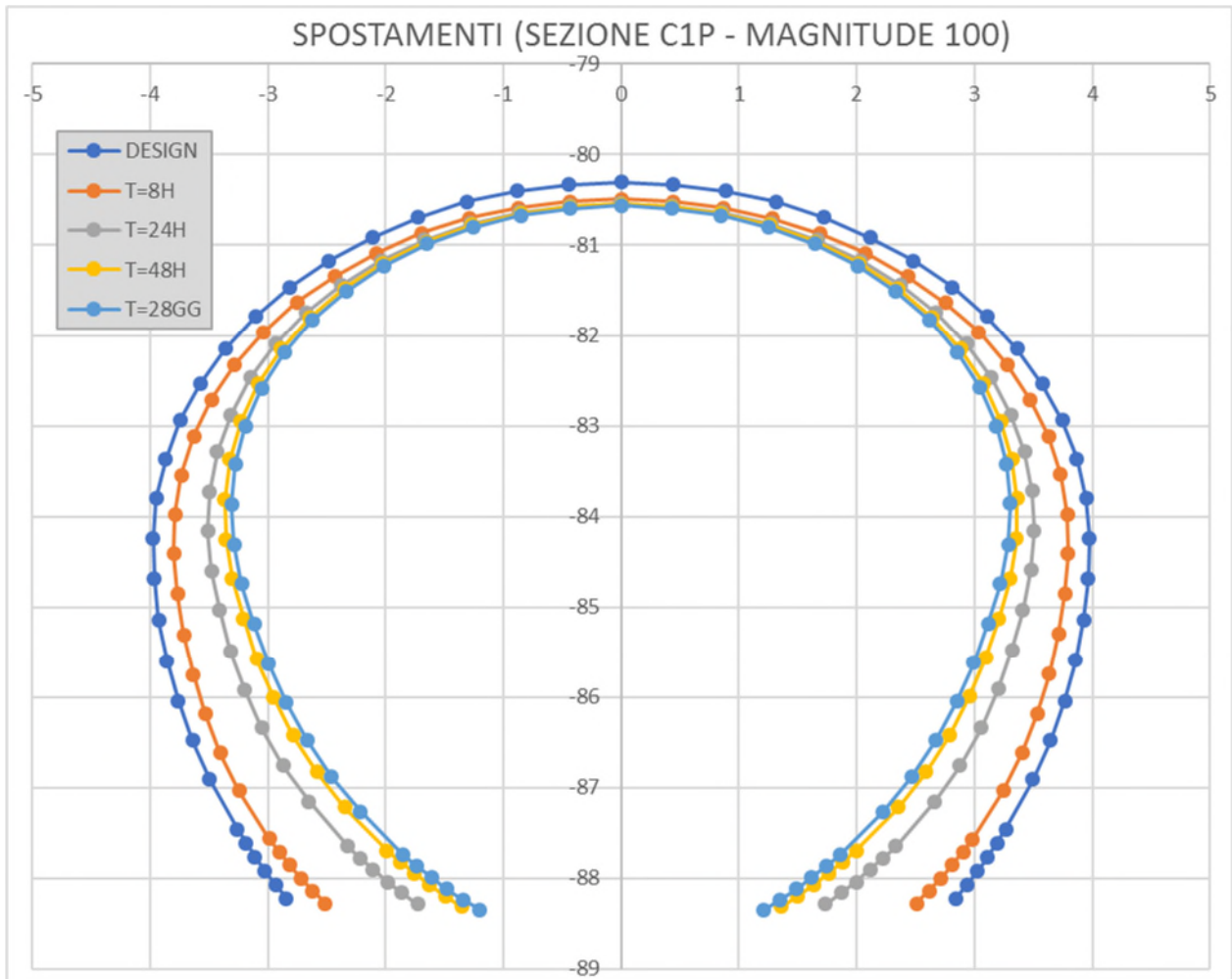


Figura 15 – Convergenze derivanti da analisi numerica della sezione tipologica C1P (spostamenti amplificati di un fattore 100)

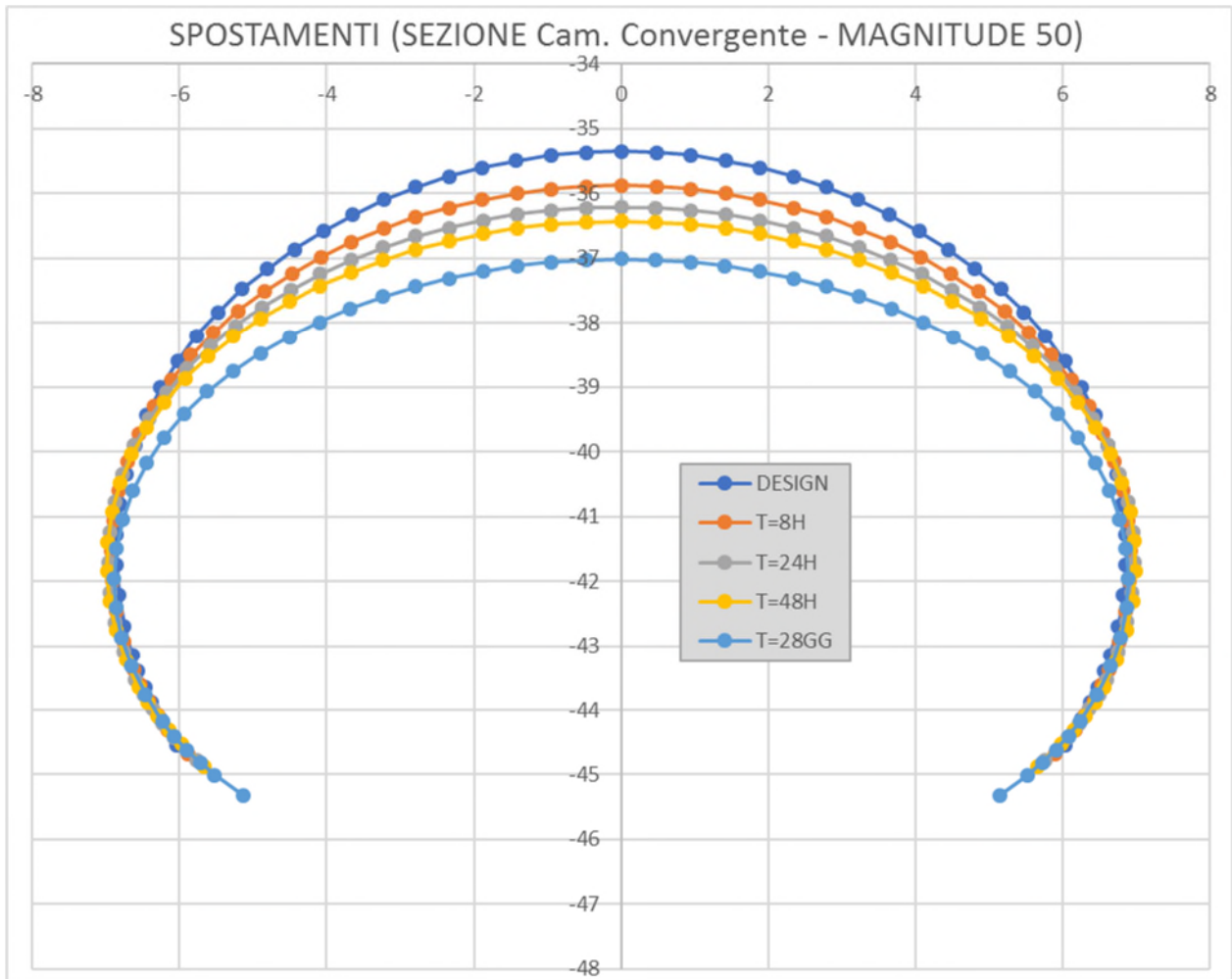


Figura 16 – Convergenze derivanti da analisi numerica della sezione del Camerone Convergente (spostamenti amplificati di un fattore 50)

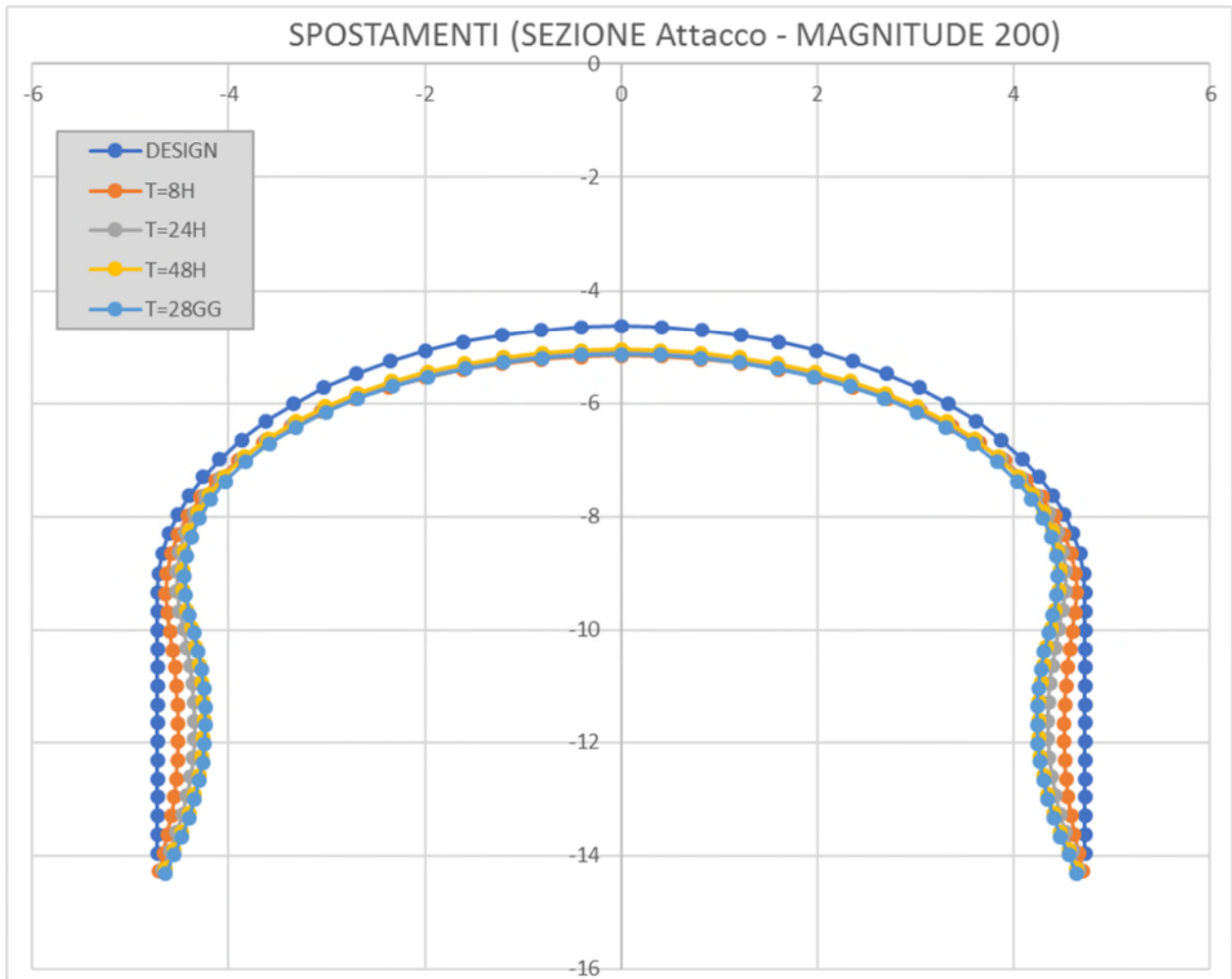


Figura 17 – Convergenze derivanti da analisi numerica della sezione di Attacco lato Lavenone (spostamenti amplificati di un fattore 200)