



Società Autostrada Tirrenica p.A.
GRUPPO AUTOSTRADALE PER L'ITALIA S.p.A.

AUTOSTRADA (A12) : ROSIGNANO – CIVITAVECCHIA
LOTTO 4 E 5B

TRATTO: GROSSETO SUD–FONTEBLANDA–ORBETELLO–ANSEDONIA

PROGETTO DEFINITIVO
INTEGRAZIONI PROGETTUALI

INFRASTRUTTURA STRATEGICA DI PREMINENTE INTERESSE NAZIONALE

CHIARIMENTI E INTEGRAZIONI

ELABORATI AGGIORNATI – PROGETTO DEFINITIVO

**NOTA TECNICA: AFFIANCAMENTO ALLA LINEA FERROVIARIA
CAMPOREGIO**

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

Ing. Massimiliano Giacobbi
Ord. Ingg. Milano N. 20746

RESPONSABILE UFFICIO PCC

**IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE**

Ing. Michele Angelo Parrella
Ord. Ingg. Avellino N. 933

CAPO PROGETTO

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Massimiliano Giacobbi
Ord. Ingg. Milano N. 20746

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO											DATA:	REVISIONE										
	DIRETTORIO				FILE								n.	data									
—	codice commessa			N.Prog.	unita'	ufficio argomento		n. progressivo			MARZO 2017												
—	1	2	1	2	1	4	0	9	—	—	—	P	C	C	0	1	0	2	—	—	SCALA: -----		

 	COORDINATORE GENERALE INIZIATIVA SAT				ELABORAZIONE GRAFICA		
	Ing. Massimiliano Giacobbi Ord. Ingg. Milano N. 20746				A CURA DI :		
	CAPO COMMESSA				ELABORAZIONE PROGETTUALE		
CONSULENZA A CURA DI :				IL RESPONSABILE UNITA' :			

	VISTO DEL COMMITTENTE 	VISTO DEL CONCEDENTE Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti <small>DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI</small>
--	--------------------------------------	---



Indice

PREMESSA	2
ASPETTI GEOTECNICI	3
STRATIGRAFIA E VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI	6
VERIFICHE DI STABILITÀ.....	9
STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE	9
STATI LIMITE DI ESERCIZIO - STIMA DEI CEDIMENTI	10
ASPETTI IDROLOGICI E IDRAULICI	20
IL PROGETTO DELLA CASSA D'ESPANSIONE DI CAMPO REGIO	22
IL PROGETTO AUTOSTRADALE.....	25
CONCLUSIONI	27



PREMESSA

Uno degli aspetti che caratterizzano maggiormente il tracciato del lotto 5B nel territorio del comune di Orbetello è l'affiancamento alla ferrovia Roma - Pisa; già dalla delibera Regionale n. 241/2013 il corridoio fu definito *“in affiancamento alla ferrovia con varianti a protezione dei centri abitati”*.

L'affiancamento ferroviario richiesto riveste una particolare importanza in corrispondenza del tratto di territorio denominato “Campo Regio”, ricompreso fra il torrente Osa e il Fiume Albegna. In questa zona infatti la regione Toscana sta progettando, nell’ambito degli interventi di messa in sicurezza idraulica dell’abitato di Albinia, una importante “cassa di espansione” la cui arginatura di valle è stata posta in affiancamento alla ferrovia. Ne scaturisce quindi, come evidenziato dalla Delibera Regionale n. 916/2013, la necessità di una “progettazione coordinata” dell’autostrada e delle sistemazioni arginali.

Pertanto Il tema dell'affiancamento alla linea litoranea a doppio binario Roma – Pisa è stato affrontato con RFI, titolare dell’infrastruttura, al fine di verificare le distanze minime fra le infrastrutture nell’ambito del corridoio e definire i successivi approfondimenti in sito e gli interventi atti a garantire compatibilità funzionale e standard di sicurezza per l’esercizio. In particolare le caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati hanno reso necessario un’indagine approfondita per stimare gli effetti che il nuovo rilevato autostradale creerebbe alla ferrovia in termini di cedimenti.

ASPETTI GEOTECNICI

Sulla base delle indagini geotecniche effettuate nell'ambito del Progetto Definitivo dell'autostrada A12 e nell'ambito del progetto di realizzazione della Cassa di espansione di Campo Regio, di seguito si riporta la successione stratigrafica caratteristica dell'area della pianura alluvionale tra fiume Osa e fiume Albegna.

Dal piano campagna e fino a profondità variabili tra circa 6.0 m (in prossimità del fiume Osa) e 20 m (in prossimità del fiume Albegna) sono presenti depositi olocenici di origine palustre e lagunare. Tali depositi sono costituiti da terreni compressibili formati da argille limose, argille con limo, limi argillosi debolmente sabbiosi con abbondante presenza di malacofauna e resti vegetali.

Al di sotto di tali materiali e per spessori variabili tra 10 e 20 m sono presenti depositi di ambiente deltizio e depositi marini risalenti all'Olocene. Tali materiali sono costituiti da limi sabbiosi e sabbie limose con intercalazioni di argille limose. Localmente si rinvencono livelli di argille con limi sabbiosi, resti vegetali in decomposizione, inclusioni torbose e malacofauna.

Al di sotto di tale strato e fino alle massime profondità indagate (40m circa) sono nuovamente presenti materiali compressibili costituiti da depositi palustro-lagunari risalenti al Pleistocene superiore. Tali depositi risultano costituiti da argille ed argille limose, con qualche livello sabbioso. Anche in profondità si segnala la presenza di resti vegetali, sostanza organica e malacofauna.

La descrizione stratigrafica sopra riportata evidenzia che il progetto della nuova autostrada A12, in questa tratta, si inserisce in un contesto stratigrafico caratterizzato dalla presenza di materiali fortemente compressibili con spessori variabili ma sempre importanti. In tale contesto sono state effettuate analisi preliminari per la stima dei cedimenti dei rilevati autostradali in progetto considerando un'altezza di rilevato pari a circa 5 m. I risultati di tali valutazioni hanno mostrato cedimenti sotto i nuovi rilevati maggiori di un metro in 50 anni. In ragione di quanto sopra sono stati progettati interventi di mitigazione dei cedimenti consistenti nel ricorso a rilevati costituiti da materiale alleggerito, in maniera tale da contenere il cedimento 50ennale sotto il rilevato autostradale nell'ordine di 50 cm circa.

Le problematiche geotecniche dei materiali presenti nella piana alluvionale trovano riscontro anche lungo il tratto della linea ferroviaria storica Pisa-Roma che attraversa quest'area. Infatti, in accordo ai risultati dell'interferometria satellitare presentati nella *"Relazione metodologica per la definizione delle indagini e delle prospezioni per lo studio di aree a rischio sinkhole nell'ambito della Progettazione Definitiva delle gallerie artificiali Fonteblanda e Ansedonia"* (documento allegato al Progetto Definitivo), i rilevati ferroviari esistenti, aventi altezze variabili tra 2.0 e 3.5 m ca., continuano a cedere con una velocità di cedimento pari a ~ 4 mm/anno come desumibile

dalle misurazioni interferometri che relative ai due periodi 1991-2001 e 2003-2010, riportate rispettivamente nella Figura 1 e nella Figura 2.

Le problematiche connesse con i cedimenti dei rilevati ferroviari esistenti trovano un'ulteriore conferma nel progetto di “Consolidamento di rilevato cedevole” datato 2006 (documento fornito da RFI) che analizza i cedimenti lungo la tratta ferroviaria nell'area in oggetto e propone due interventi, a cavallo del Fiume Albegna, per interrompere, o quantomeno rallentare, i “diffusi fenomeni di cedimento di rilevato che richiedono continui ed onerosi interventi di manutenzione consistenti in ricarica di pietrisco e rilivellamento del binario”.

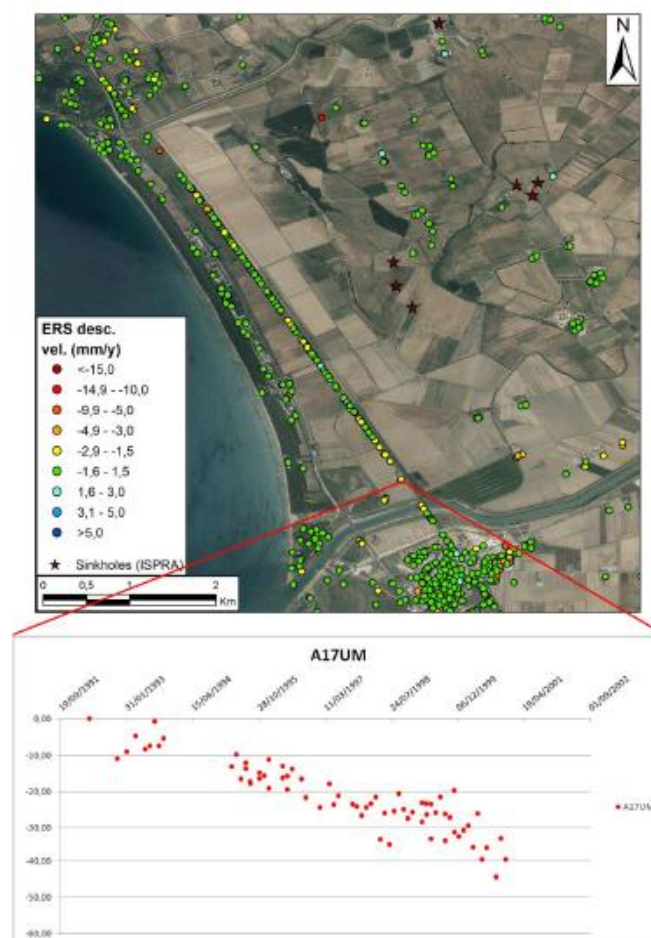


Figura 11 – Distribuzione dei dati PS ERS discendenti relativi all'area compresa tra le valli del Torrente Osa (a Nord) e del Fiume Albegna (a Sud) ed esempio di serie storica di uno dei punti ritenuti più significativi. Le stelle rosse indicano i sinkholes cartografati da ISPRA.

Figura 1: Estratto da Documento “Relazione metodologica per la definizione delle indagini e delle prospezioni per lo studio di aree a rischio sinkhole nell'ambito della Progettazione Definitiva delle gallerie artificiali Fonteblanda e Ansedonia” redatto dall'Università degli Studi di Firenze, Marzo 2016

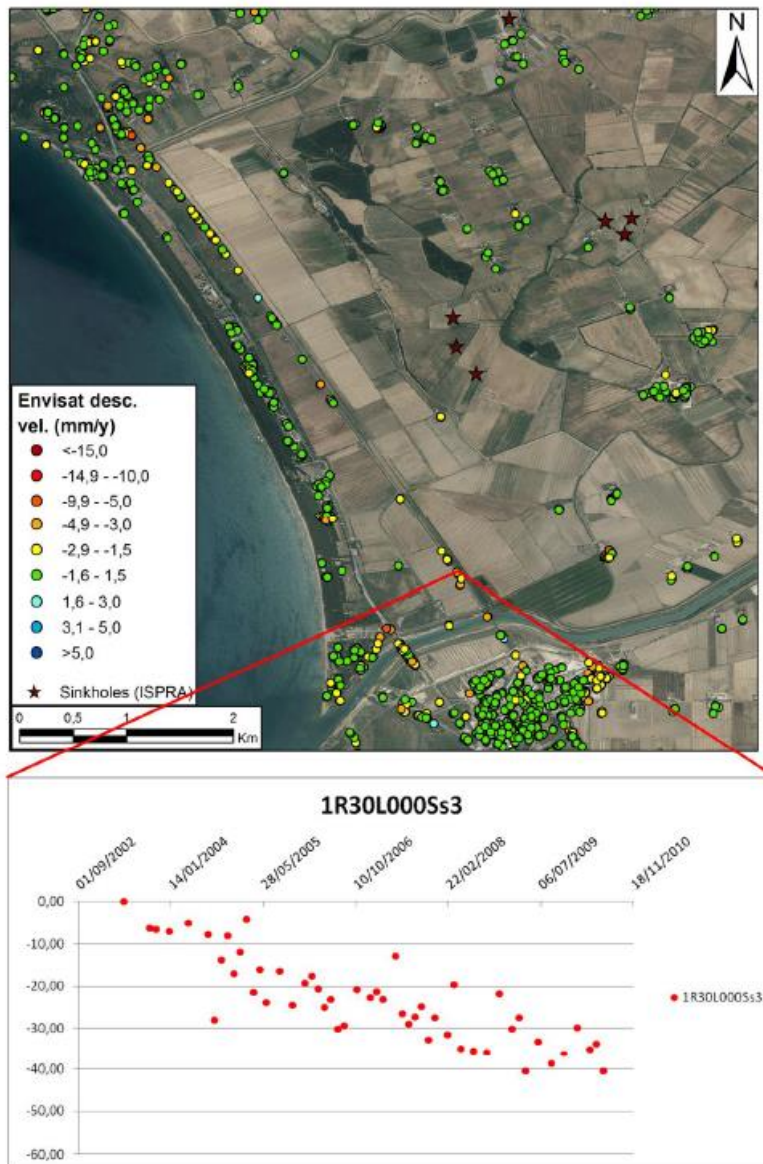


Figura 15 – Distribuzione dei dati PS Envisat discendenti relativi all'area compresa tra le valli del torrente Osa (a Nord) e del Fiume Albegna (a Sud) ed esempio di serie storica di uno dei punti ritenuti più significativi. Le stelle rosse indicano i sinkholes cartografati da ISPRA.

Figura 2: Estratto da Documento "Relazione metodologica per la definizione delle indagini e delle prospezioni per lo studio di aree a rischio sinkhole nell'ambito della Progettazione Definitiva delle gallerie artificiali Fonteblanda e Ansedonia" redatto dall'Università degli Studi di Firenze, Marzo 2016

Stratigrafia e valori caratteristici dei parametri geotecnici

Considerata la lunghezza della tratta in oggetto si è fatto riferimento a tre differenti stratigrafie di calcolo:

Stratigrafia A e stratigrafia B (riportate nella Tabella 1), valide nella tratta compresa tra la Spalla Sud del viadotto sul Torrente Osa e la progressiva ~ Km.7+700. I sondaggi di riferimento per le queste stratigrafie sono: 5b-SD11, 5b-SD12, 5b-SD13, 5b-SD14, 4/1-SD18, 5b-SD15, 5b-SD16, 5b-SD17 e 5b-SD18.

La Stratigrafia A e Stratigrafia B differiscono per la sola caratterizzazione dello strato cedevole profondo (Qt1k), per il quale sono stati definiti due set di parametri geotecnici (lower and upper bound) in relazione alla variabilità riscontrata nei risultati delle prove geotecniche di laboratorio.

Stratigrafia C (riportata nella Tabella 2), valida tra la progressiva ~ Km.7+700 fino alla spalla Nord del viadotto sul Fiume Albegna. I sondaggi di riferimento per questa stratigrafia sono: 5b-SD20, 5b-SD22, 5b-SD23, 5b-SD24 e 5b-SD25. Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni e la definizione dei parametri meccanici di compressibilità caratteristici sono stati presi in considerazione anche gli ulteriori sondaggi 4/1-SD21, 4/1-SD22 e 4/1-SD23 che, pur essendo parecchio distanti dalla sede autostradale e quindi non utili nella ricostruzione stratigrafica, permettono di ottenere un campione di prove di laboratorio più rappresentativo degli strati più compressibili.

I valori dei parametri geotecnici di calcolo utilizzati per i terreni a grana grossa sono riportati nella Tabella 3, mentre quelli per i terreni a grana fine sono riportati nella Tabella 4.

Tabella 1: Stratigrafie di calcolo A e B
 parallelismo autostrada–ferrovia da km 4+400 al km 7+700

Profondità		Formazione
Da (m da p.c.)	a (m da p.c.)	
0.0	8.5	H1a1/H1a
8.5	19.5	H3c
19.5	40.0 ⁽¹⁾	Qt1k
40.0 ⁽¹⁾	fine modello	Calccare fessurato / Sabbie
falda a p.c.		
la profondità dello strato Qt1k è stata qui ipotizzata in quanto il sondaggio di riferimento si interrompe in tale strato. La profondità della base dello strato in oggetto dovrà essere riverificata in sede di Progetto Esecutivo.		

Tabella 2: Stratigrafia di calcolo C
 parallelismo autostrada–ferrovia da km 7+700 al km 8+800

Profondità		Formazione
Da (m da p.c.)	a (m da p.c.)	
0.0	22.0	H1b/H1a
22.0	40.0	H3b
40.0	fine modello	Alternanze ghiaie /argille consistenti
falda a p.c.		

Tabella 3: Parametri adottati per i terreni a grana grossa

Formazione	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	ψ' (°)	OCR (-)	E_{50}^{ref} (Mpa)	E_{edo}^{ref} (MPa)	E_{ur}^{ref} (MPa)	m (-)	v (-)
H3c (strat.A e B)	20	30	0	0	1.0	16	16	49	0.65	0.15
H3b (strat.C)	20	30	0	0	1.0	12.6	12.6	36.9	0.65	0.15
Calcare fessurato / Sabbie (strat.A e B)	25	38	0	0	1.0	30	30	90	0.65	0.15
ghiaie /argille consistenti (strat.C)	20	30	0	0	1.0	34.8	34.8	104.4	0.6	0.15

Tabella 4: Parametri adottati per i terreni a grana fine

Formazione	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	c_u (kPa)	OCR (-)	e_0 (-)	c_c (-)	c_r (-)	c_{\square} (%)	$k_v = k_h$ (m/s)
H1a1 / H1a (strat.A e B)	18	25	5	20	1.0	1.4	0.45	0.2· c_c	1.80	1·10 ⁻⁹
H1b(strat.C)	18	25	5	30	1.0	1.0	0.4	0.2· c_c	1.60	1·10 ⁻⁹
H1a(strat.C)	18	25	5	20 ⁽¹⁾ 30 ⁽²⁾	1.0	1.0	0.4	0.2· c_c	1.60	1·10 ⁻⁹
Qt1k (strat.A)	18.5	28	5	30	1.0	0.7	0.20	0.2· c_c	0.80	1·10 ⁻⁷
Qt1k (strat.B)	18.5	28	5	30	1.0	1.2	0.40	0.2· c_c	1.60	1·10 ⁻⁷
⁽¹⁾ valori assunti fino a 10 m da p.c. ⁽²⁾ valori assunti per profondità superiori a 10 m da p.c.										

Verifiche di stabilità

Le verifiche di stabilità globale e le stime dei cedimenti per la tratta di riferimento sono state condotte considerando un'altezza di rilevato autostradale pari a 5.0 m ca.. Il rilevato ferroviario esistente della linea Pisa-Roma è stato modellato con un'altezza pari a circa 2.3 m ca., che rappresenta l'altezza media lungo la tratta in oggetto.

Le analisi di cedimento di seguito riportate hanno lo scopo di stimare sia i cedimenti sul nuovo rilevato autostradale sia quelli indotti sul rilevato ferroviario esistente. Come interventi di mitigazione dei cedimenti sono stati simulati sia l'utilizzo di rilevati alleggeriti sia l'allontanamento dei rilevati autostradali di progetto dalla linea ferroviaria esistente. Il ricorso a trattamenti colonnari è stato valutato in una fase preliminare, ma a seguito di un'analisi costi-benefici, dove i benefici sono intesi come la riduzione dei cedimenti indotti sui rilevati ferroviari, si è ritenuto più opportuno l'allontanamento della sede autostradale dalla ferrovia contestualmente all'utilizzo di rilevati alleggeriti.

Considerata la lunghezza della tratta in oggetto, le analisi dei cedimenti sono state effettuate considerando tre stratigrafie di calcolo descritte al paragrafo precedente. Per ognuna delle tre stratigrafie considerate è stata effettuata la stima dei cedimenti, considerando sia l'utilizzo di un rilevato tradizionale (non alleggerito), sia l'utilizzo del rilevato alleggerito. Nella stima dei cedimenti sono stati monitorati nel tempo sia i cedimenti del rilevato autostradale sia i cedimenti indotti sul rilevato ferroviario in corrispondenza dei due binari.

Le verifiche e stime riportate nei paragrafi successivi sono state condotte in accordo alle procedure descritte nei paragrafi seguenti.

Stati Limite Ultimi - Verifiche di stabilità globale

Le verifiche di stabilità globale sono state effettuate secondo NTC2008.

Per quanto riguarda le analisi di stabilità si fa riferimento:

per le stratigrafie A e B, alle verifiche di stabilità effettuate in corrispondenza della sezione alla progressiva km.4+320;

per la stratigrafia C, alle verifiche di stabilità effettuate in corrispondenza della sezione alla progressiva km.10+200.

I risultati delle verifiche di stabilità globale, come commentato nei paragrafi sopra richiamati, indicano che la stabilità globale del rilevato tradizionale ($\gamma=20\text{kN/m}^3$) senza interventi di miglioramento del terreno di fondazione è verificata per rilevati di altezza $H_{\text{RIL}} \leq 2\text{m}$. Per rilevati di altezze superiori, $5\text{m} \geq H_{\text{RILEVATO}} > 2\text{m}$, si devono invece prevedere interventi per garantire la

stabilità dei rilevati, consistenti in una diminuzione dei carichi sui terreni di fondazione mediante l'utilizzo di rilevati alleggeriti oppure nel miglioramento degli stessi terreni di fondazione mediante l'esecuzione di trattamenti colonnari. Per la tratta in esame, come già detto, si fa riferimento solo all'ipotesi di rilevati alleggeriti.

Stati Limite di Esercizio - Stima dei cedimenti

Le stime dei cedimenti di seguito riportate sono state effettuate allo scopo di stimare l'ordine di grandezza dei cedimenti indotti dai rilevati di nuova costruzione con l'obiettivo di valutare la necessità o meno di interventi di mitigazione dei cedimenti in termini di rilevati alleggeriti. Le analisi riportate di seguito fanno riferimento ad una distanza D tra piede rilevato autostradale e piede rilevato ferroviario pari a 25 m.

La stima dei cedimenti indotti dalla costruzione del rilevato è stata condotta secondo le seguenti fasi di calcolo:

- Fase 1 Ricostruzione situazione geostatica iniziale in condizioni k_0 ;
- Fase 2 Costruzione del rilevato ferroviario
- Fase 3 Attesa di 126 anni (dal 1890 al 2016)
- Fase 4 Costruzione del rilevato autostradale: $HRILEVATO = 5.0m$ in ~ 90 giorni
- Fase 5 Attesa di 1 anno
- Fase 6 Attesa di 2 anno
- Fase 7 Attesa di 3 anni
- Fase 8 Attesa di 4 anni
- Fase 9 Attesa di 5 anni
- Fase 10 Attesa di 10 anni
- Fase 11 Attesa di 25 anni
- Fase 12 Attesa di 50 anni
- Fase 13 Attesa di 80 anni

Per ogni stratigrafia di calcolo sono stati analizzati i seguenti casi:

Nessun intervento di mitigazione dei cedimenti;

Rilevato alleggerito ($\gamma_{\text{rilevato}} = 10 \text{ kN/m}^3$).

In tutte le analisi fatte è stato considerato uno scotico+bonifico pari ad 1.0 m. Nel caso di rilevato alleggerito, anche il bonifico è stato considerato costituito da materiale alleggerito.

In Figura 3 è riportata la geometria di calcolo analizzata (Stratigrafia A con distanza tra piede rilevato autostradale e ferroviario $D = 25\text{m}$).

In Tabella 5 (Stratigrafia A e B) e Tabella 6 (Stratigrafia C) sono riportati i cedimenti massimi cumulati a partire dalla Fase 4, misurati in asse al rilevato autostradale, sia utilizzando un rilevato tradizionale che utilizzando un rilevato alleggerito.

I risultati riportati nelle Figure da 4 a 9 evidenziano entità dei cedimenti del rilevato autostradale tradizionale (1.0 m ca. in 50 anni per le stratigrafie A e B e ~ 1.7 m ca. in 50 anni per la stratigrafia C) tali da richiedere interventi di mitigazione dei cedimenti dei rilevati autostradali stessi. In tutti i calcoli effettuati, l'utilizzo dei rilevati alleggeriti permette di ridurre i cedimenti di ~ 55÷65%.

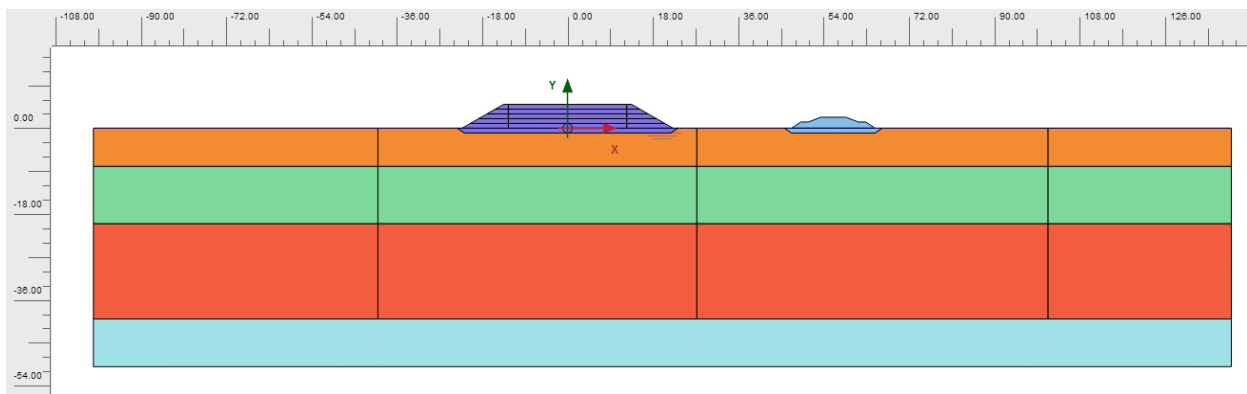


Figura 2

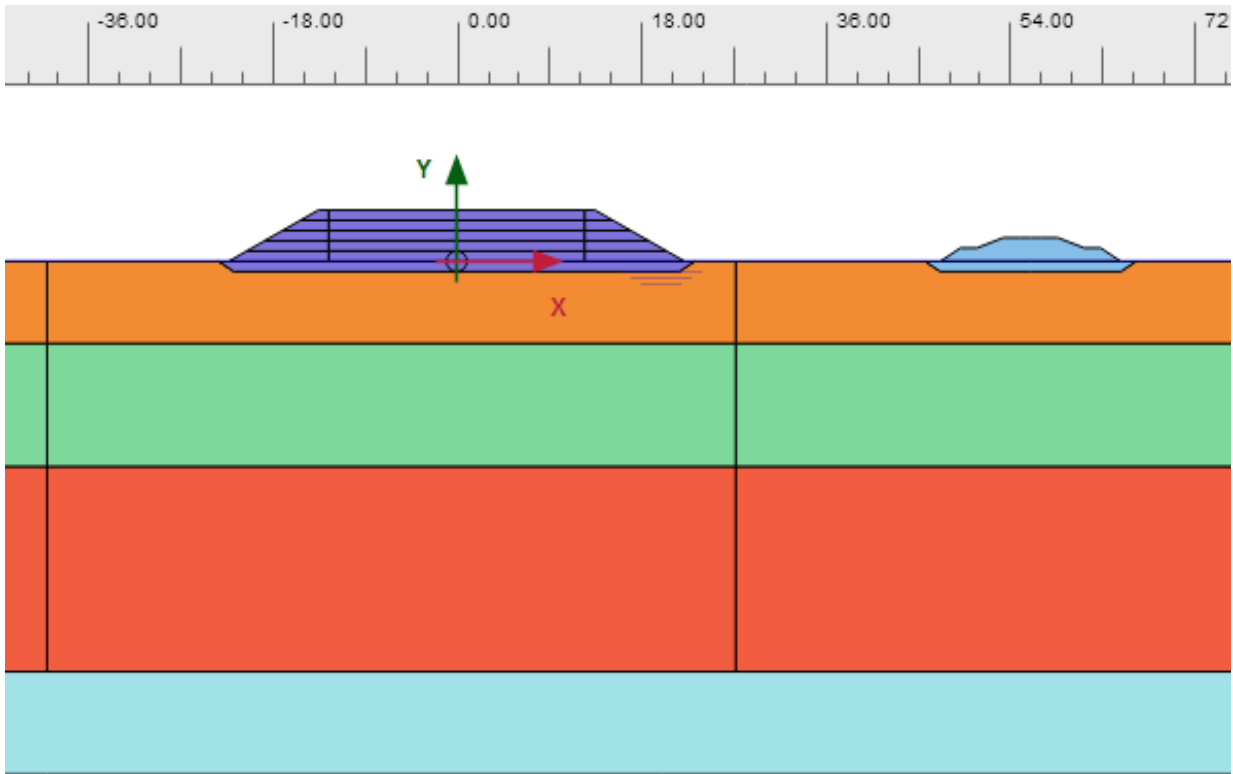


Figura 3: Geometria analizzata con Plaxis

Tabella 5: Sez. Km.05+200
 Cedimento massimo in asse rilevato autostradale
 Stratigrafia A e B (stratigrafia A = lower bound, stratigrafia B = upper bound)

Analisi:	Rilevato tradizionale	Rilevato alleggerito
Tempo:	$\gamma_{\text{Rilevato}} = 20 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{\text{Rilevato}} = 10 \text{ kN/m}^3$
S fine costruzione rilevato autostradale (cm)	19÷22	7.6÷8.4
S 1 anno (cm)	64÷69	24÷26
S 2 anni (cm)	78÷84	30÷32
S 3 anni (cm)	85÷91	34÷36
S 5 anni (cm)	91÷97	38÷40
S 10 anni (cm)	97÷104	42÷44
S 25 anni (cm)	102÷110	46÷48
S 50 anni (cm)	106÷115	49÷51
S 80 anni (cm)	108÷118	50÷53
Figure di riferimento	Figura 6	Figura 7
$S_{x \text{ anni}}$ = cedimento massimo misurato in asse rilevato autostradale e cumulato a partire dalla costruzione del rilevato fino ad x anni.		

Tabella 6: Sez. Km.08+300
 Cedimento massimo in asse rilevato autostradale
 Stratigrafia C

Analisi:	Rilevato tradizionale	Rilevato alleggerito
Tempo:	γ Rilevato = 20 kN/m ³	γ Rilevato = 10 kN/m ³
S fine costruzione rilevato autostradale (cm)	30	10
S 1 anno (cm)	62	24
S 2 anni (cm)	76	29
S 3 anni (cm)	87	33
S 5 anni (cm)	103	39
S 10 anni (cm)	127	49
S 25 anni (cm)	154	62
S 50 anni (cm)	166	69
S 80 anni (cm)	172	77
Figure di riferimento	Figura 8	Errore. L'origine iferimento non è stata trovata.
S_x anni = cedimento massimo misurato in asse rilevato autostradale e cumulato a partire dalla costruzione del rilevato fino ad x anni.		

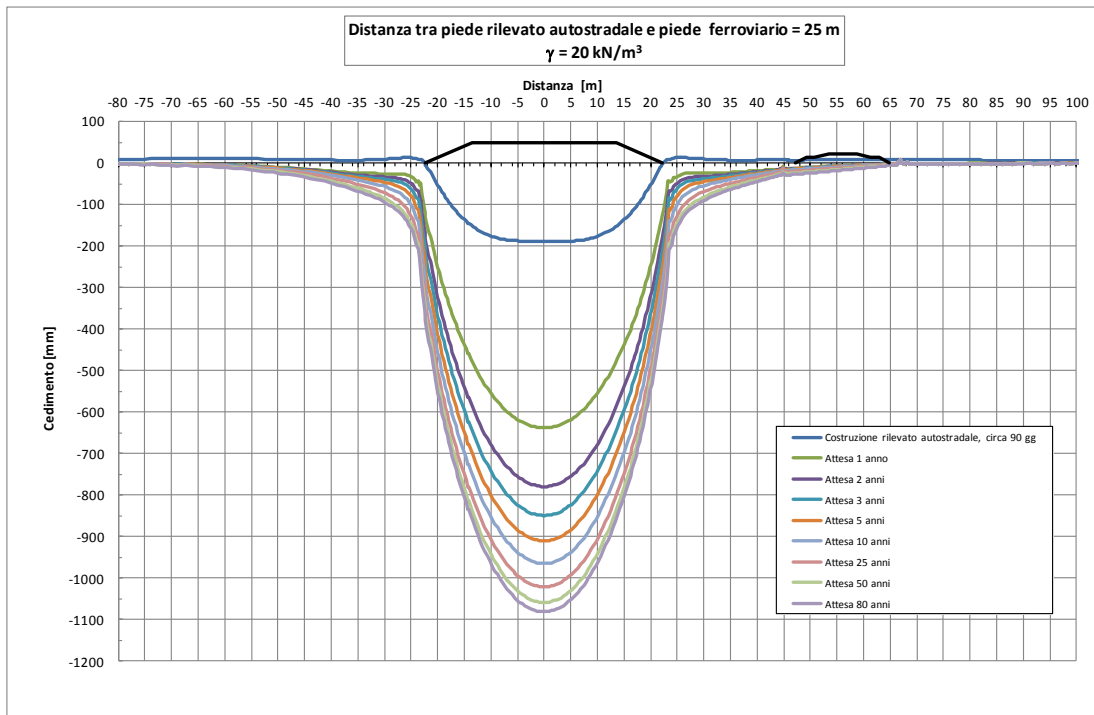


Figura 4: Stratigrafia A, HRIL=5m

Rilevato tradizionale - Cedimenti sotto l'impronta del rilevato

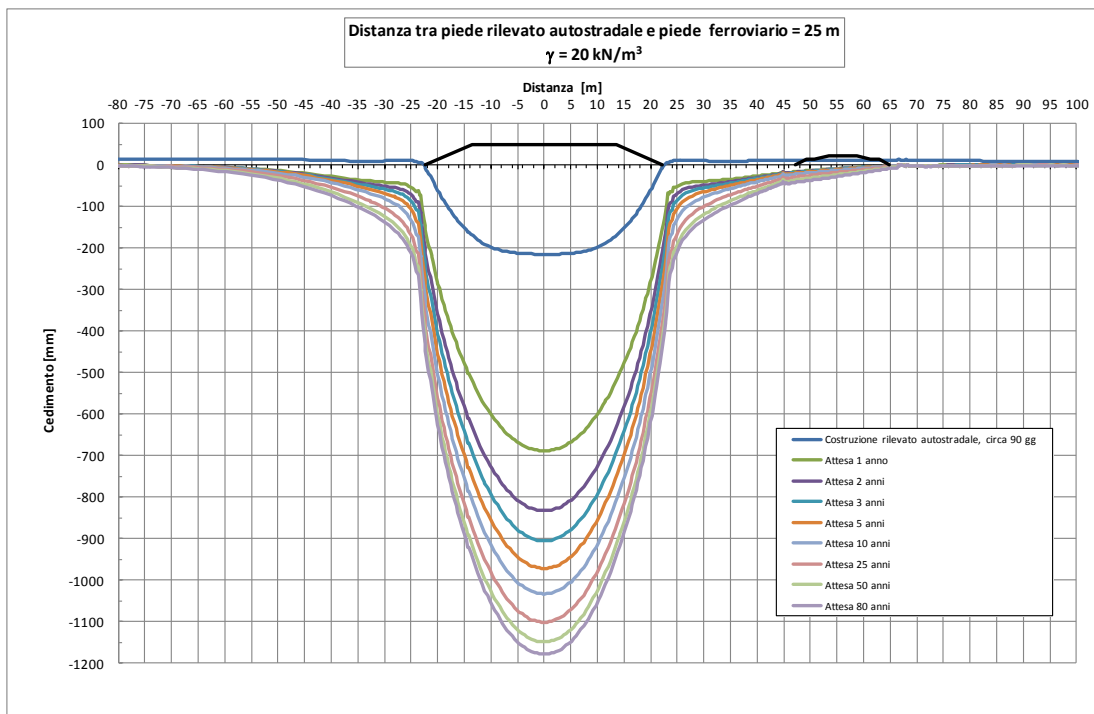


Figura 5: Stratigrafia B, HRIL=5m

Rilevato tradizionale - Cedimenti sotto l'impronta del rilevato

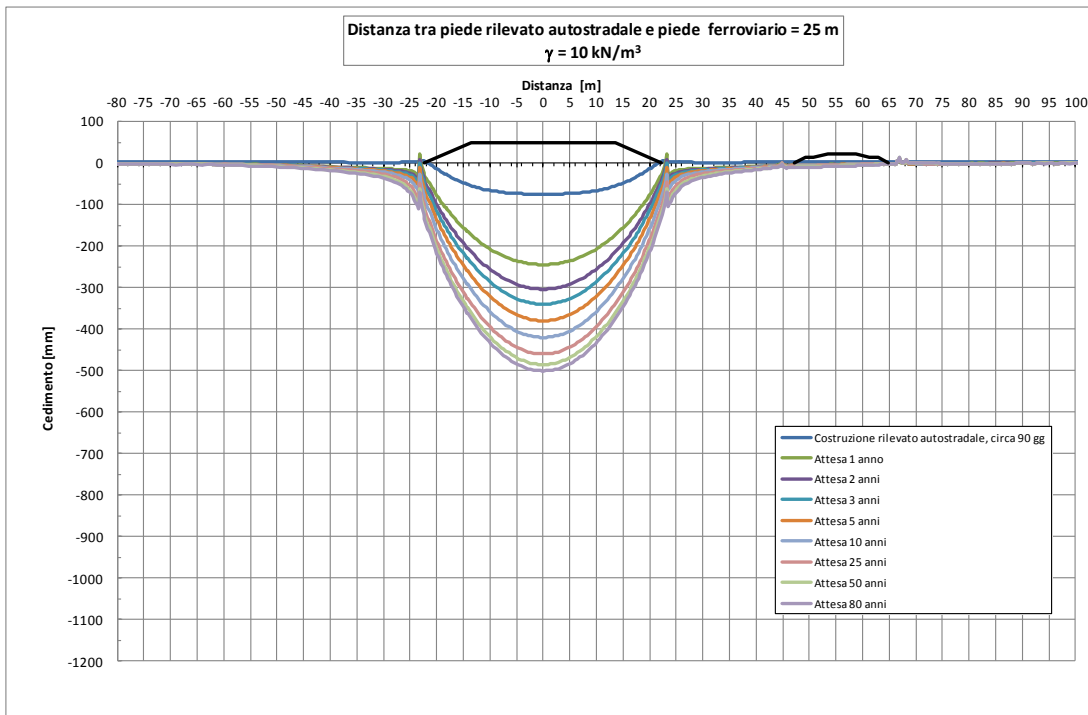


Figura 6: Stratigrafia A, HRIL=5m

Rilevato alleggerito - Cedimenti sotto l'impronta del rilevato

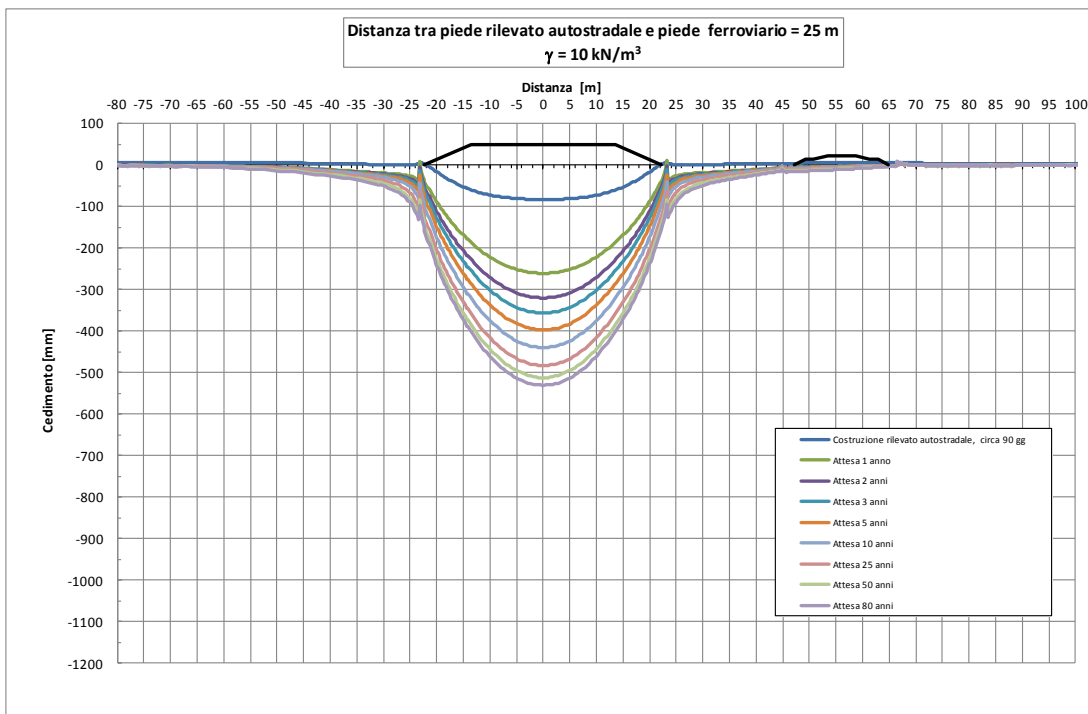


Figura 7: Stratigrafia B, HRIL=5m

Rilevato alleggerito - Cedimenti sotto l'impronta del rilevato

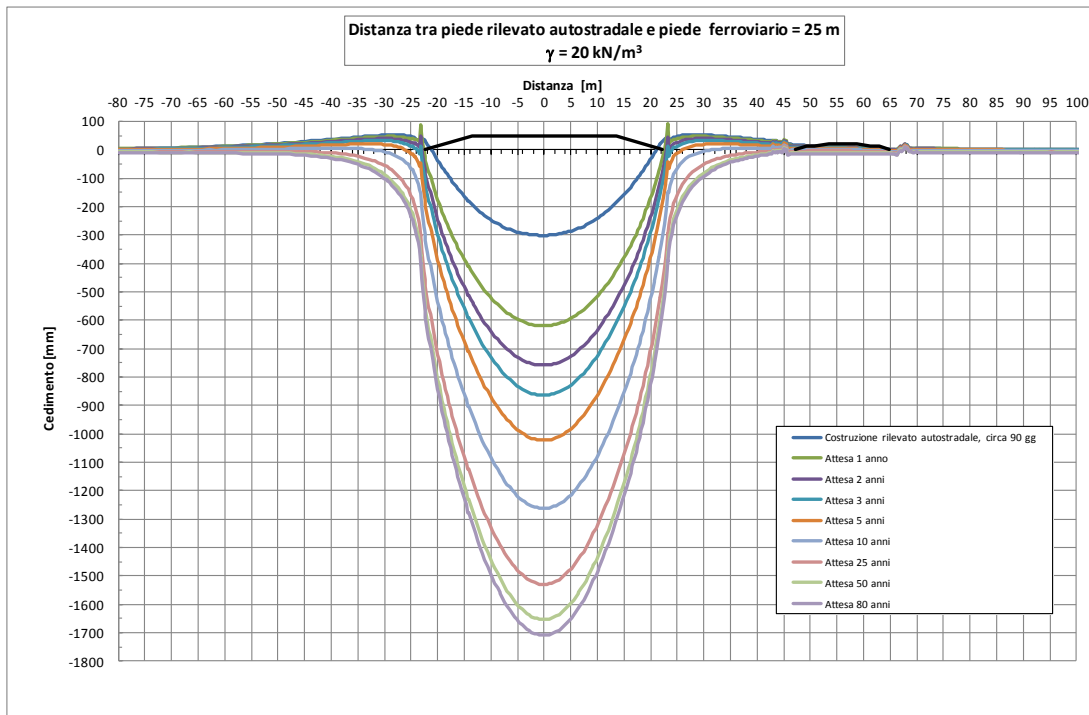


Figura 8: Stratigrafia C, $H_{RIL}=5m$
Rilevato tradizionale - Cedimenti sotto l'impronta del rilevato

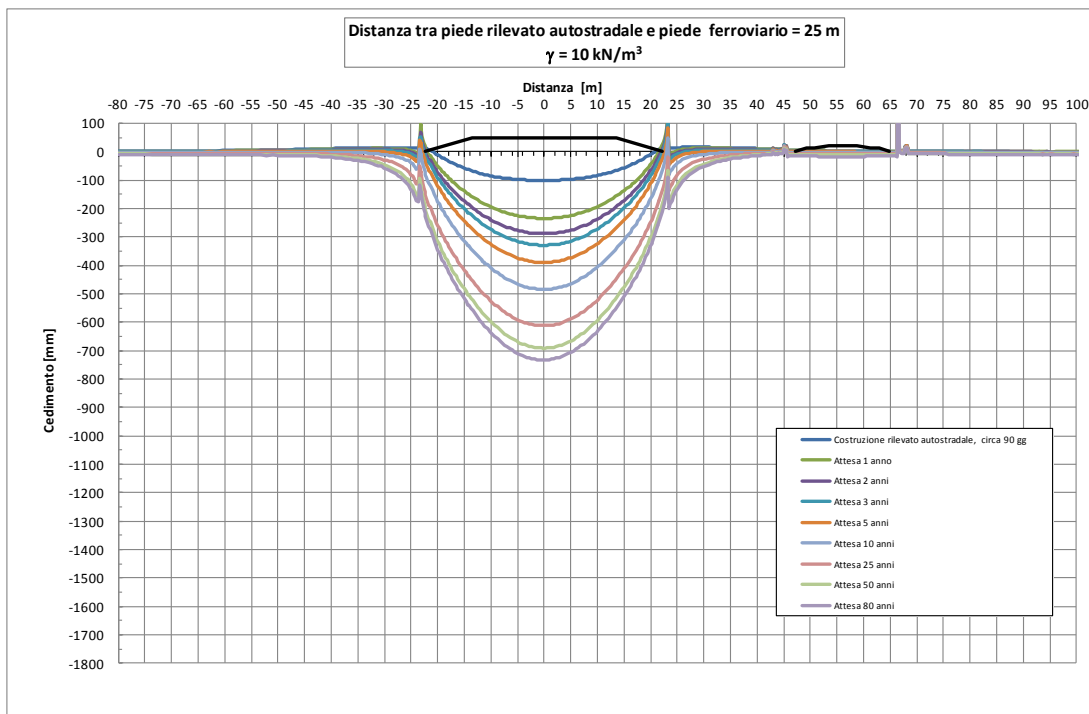


Figura 9: Stratigrafia C, $H_{RIL}=5m$
Rilevato tradizionale - Cedimenti sotto l'impronta del rilevato

In merito alla stima dei cedimenti, totali e differenziali, indotti sui binari della linea storica Pisa-Roma dalla costruzione dei nuovi rilevati autostradali, si evidenzia quanto segue:

- la linea ferroviaria in oggetto è già oggi oggetto di cedimenti annuali dell'ordine di qualche millimetro, a prescindere dalla futura costruzione dei nuovi rilevati autostradali.
- possibili oscillazioni naturali, o da prelievo idrico, della falda acquifera nell'area in esame sono potenzialmente in grado di generare ulteriori cedimenti della linea ferroviaria, ciò a prescindere dalla futura costruzione dei nuovi rilevati autostradali.
- cedimenti differenziali dei binari del rilevato ferroviario esistente, trasversali (che impattano sui valori dei livelli trasversali) e longitudinali (che impattano sui valori degli sghembi), indotti dalla costruzione dei nuovi rilevati autostradali, possono generarsi a seguito del verificarsi di una o più delle seguenti condizioni:
 - distanza tra il rilevato ferroviario ed il rilevato autostradale tale che la “campana” dei cedimenti indotti da quest'ultimo interessi anche l'impronta del rilevato ferroviario
 - variazioni nella distanza tra i due rilevati, ferroviario e stradale
 - variazioni nell'altezza dei rilevati autostradali
 - variazioni stratigrafiche.
- i terreni alluvionali presenti nella piana delimitata dal torrente Osa e dal fiume Albegna risultano molto compressibili, al punto tale da essere soggetti a cedimenti di parecchi decimetri quando caricati da rilevati stradali di altezze pari a 4-5 m, mentre i cedimenti differenziali che possono interferire con l'esercizio della linea ferroviaria esistente sono di uno/due ordini di grandezza inferiori.
- la situazione più gravosa per la ferrovia si ha quando il cedimento avviene in tempi brevi non compatibili con gli interventi di manutenzione ordinaria.

In accordo a quanto sopra descritto, tenuto conto anche delle incertezze legate al calcolo dei cedimenti insite nei metodi di calcolo e software utilizzati, una verifica formale di compatibilità dei livelli trasversali e degli sghembi dei binari, seppur formalmente possibile, risulta molto difficile in quanto non è possibile, nel contesto in esame, raggiungere una ragionevole confidenza sui valori di cedimento differenziali dell'ordine dei millimetri, così come sarebbe richiesto dalle verifiche suddette e dagli standard per l'esercizio ferroviario.

Si ritiene pertanto necessario adottare opportuni coefficienti di sicurezza sulle verifiche formali di compatibilità dei livelli trasversali e degli sghembi dei binari, mantenendo una distanza minima tra i cigli inferiori (piedi) dei rilevati autostradale e ferroviario comunque non inferiore a 25 m e ricorrendo per i rilevati autostradali a rilevati alleggeriti.



In ragione di quanto sopra non risulta evidentemente percorribile la soluzione di realizzare un rilevato autostradale anche con funzione di argine: una tale configurazione, infatti, oltre che comportare un incremento dell'altezza del rilevato stesso, porterebbe con sé la necessità di adottare, per il corpo del rilevato, anche solo parzialmente, materiale non alleggerito (al fine di assolvere in maniera efficace la funzione di argine idraulico). Maggiori altezze e materiali non alleggeriti avrebbero di nuovo un impatto negativo in termini di cedimenti differiti nel tempo, con conseguenze dirette sui costi di realizzazione e di manutenzione della nuova infrastruttura autostradale.

ASPETTI IDROLOGICI E IDRAULICI

Il tracciato è stato studiato in maniera da minimizzare gli impatti con il territorio e le problematiche di tipo idraulico, mirando alla mitigazione del rischio idraulico nell'area interessata. Nella progettazione sono stati considerati gli indirizzi forniti dalla Del. GRT n.916 del 4/11/13 in merito agli aspetti idraulici. Nel dettaglio, la citata Delibera prescrive:

“ Il progetto dovrà tener conto degli interventi urgenti ed indifferibili di ripristino e messa in sicurezza sviluppati a seguito dell'evento alluvionale verificatosi nel novembre 2012; tra gli aspetti da tenere in considerazione si segnala che nel tratto tra il fiume Osa e l'Albegna è in fase di progettazione una cassa d'espansione per la messa in sicurezza dell'abitato di Albinia; nella fase di progettazione definitiva è necessario quindi che la localizzazione del tracciato sia coordinata con gli uffici regionali ai fini di una progettazione integrata che contempli le varie esigenze e garantisca la riduzione del consumo di suolo (1), anche verificando la possibilità di utilizzare il rilevato autostradale con funzioni di contenimento idraulico per il lato a monte della cassa di espansione; e cioè sia allo scopo di ridurre gli elementi di divisione del territorio (2), sia di contenere le spese di realizzazione della cassa di espansione (3).”

Negli studi che sono stati redatti negli anni 2012 – 2013 per conto del Commissario Delegato ex L. 228/2012 – Regione Toscana Settore Prevenzione del Rischio Idraulico e Idrogeologico è stato definito, sulla base dell'analisi idrologica ed idraulica di dettaglio, il quadro generale degli interventi per la messa in sicurezza del F. Albegna a seguito dell'evento dell'11,12 novembre 2012.

Degli interventi individuati negli studi è stata ultimata la progettazione definitiva della Cassa d'espansione di Campo Regio e la progettazione preliminare dell'adeguamento del Collettore Orientale e cassa d'espansione in loc. Fonteblanda, entrambi datati dicembre 2014.

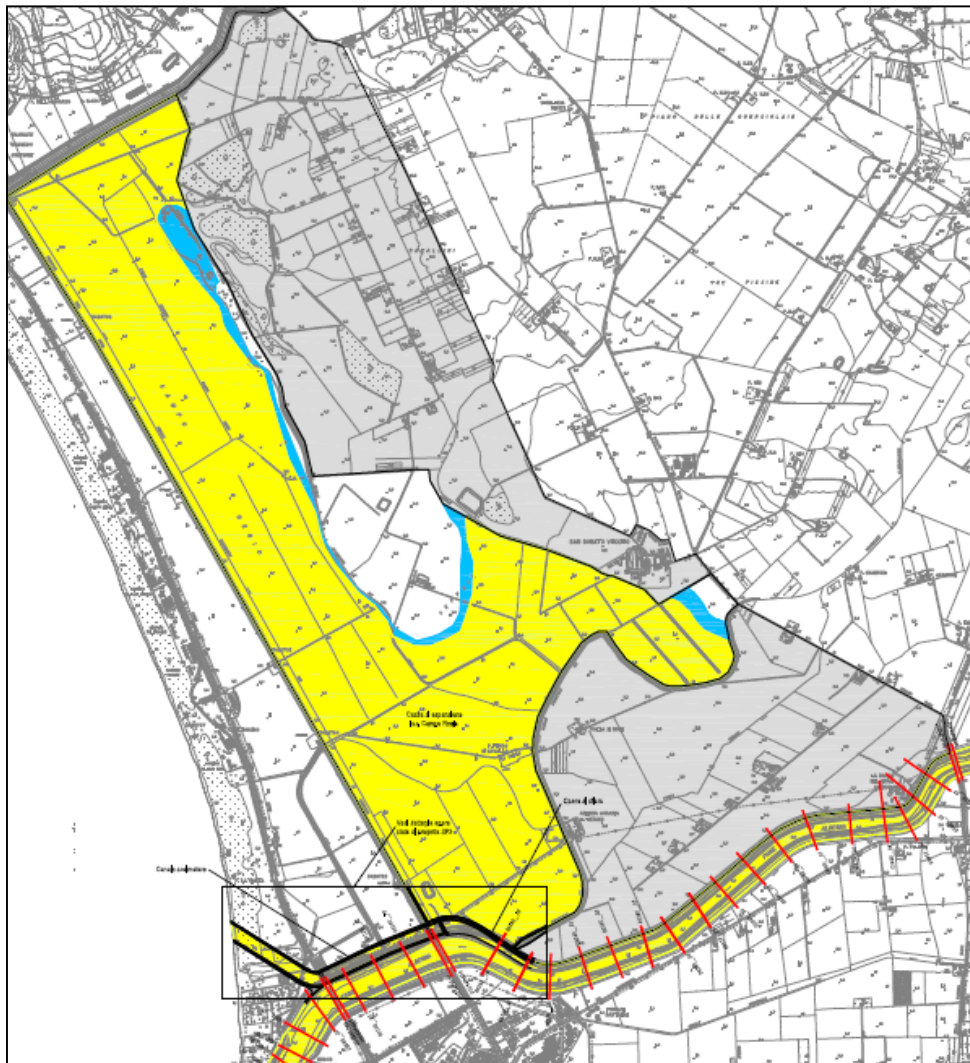
Rimangono a livello di indicazione progettuale gli interventi individuati nello studio idrologico idraulico del Commissario Delegato ex L.228/2012 sul reticolo minore afferente il F. Albegna, il T. Osa e l'ambito di Orbetello interessato dagli eventi del 10/12 dicembre 2012, datato luglio 2014.

Zona cassa di espansione di Campo Regio

Quest'area è stata interessata nel mese di novembre 2012 da una forte evento piovoso che ha determinato allagamenti in sinistra idraulica del fiume Albegna, nella zona di monte prima e infine nell'abitato di Albinia.

A seguito di tali eventi calamitosi la Regione Toscana ha avanzato tre ipotesi d'intervento per la messa in sicurezza dell'abitato di Albinia.

Lo studio redatto da Commissario Delegato ex L. 228/2012 – Regione Toscana Settore Prevenzione del Rischio Idraulico e Idrogeologico, datato ottobre 2013, analizza i tre interventi di messa in sicurezza che per quanto riguarda l’area in esame “spostano” il potenziale allagamento nella zona drenata dal canale di Campo Regio a monte della ferrovia, che è l’area ipotizzata per la realizzazione della cassa d’espansione. Nella seguente figura si riporta l’estratto della carta 1:10000 dello studio del Commissario con evidenziati gli allagamenti dello scenario 3 più gravoso. L’allagamento è confinato in maniera naturale nella fascia di circa 500 m tra la ferrovia e la scarpata in corrispondenza del salto di quota, ad eccezione dell’allagamento dell’area sotto la cascina S.Donato Vecchio in cui limite si spinge più ad est e crea un ampia varice fra l’argine in dx del canale principale ed il cambio di quota sotto la cascina.



Area cassa di espansione Campo Regio: scenario di allagamento

Il massimo livello di allagamento dell'area ripreso dai risultati dello studio risulta 3,12 m s.l.m. corrispondenza dell'evento critico del novembre 2012.

Il progetto di sistemazione idraulica denominato Cassa d'espansione di Campo Regio, che la Regione Toscana ha approvato nel 2015, riguarda la costruzione di opere idrauliche di regimentazione dei deflussi del fiume Albegna, del torrente Albegnaccia e del Canale principale della bonifica. Gli interventi sono ubicati in destra idraulica del Fiume Albegna.

L'obiettivo finale dell'intervento è la messa in sicurezza del territorio attraversato dal Fiume Albegna per il tempo di ritorno di 200 anni con un adeguati franchi di sicurezza, garantendo al contempo il non incremento delle sollecitazioni idrauliche sulle opere idrauliche, sulle opere interferenti (attraversamenti, ecc...) e sulle aree contermini alle stesse.

Gli interventi previsti costituiscono un aggiornamento degli interventi strutturali definiti nel PAI alla luce del diverso quadro conoscitivo di maggiore dettaglio.

Il progetto Definitivo della Regione è suddiviso in due lotti funzionali; il primo lotto è costituito dal canale scolmatore e dalla sistemazione del reticolo minore interferente; il secondo lotto è costituito dalla Cassa di Espansione.

Il progetto di sistemazione idraulica è stato elaborato in coordinamento con A.N.A.S. e R.F.I. che effettueranno la progettazione dei rispettivi attraversamenti sul canale scolmatore e delle due opere infrastrutturali di propria competenza.

Il progetto della Cassa d'espansione di Campo Regio

(estratto della relazione Generale di progetto).

Il progetto prevede la realizzazione della Cassa di Espansione e del Canale Scolmatore sul Fiume Albegna in località Campo Regio.

L'intervento ha duplice finalità:

- a. Riduzione del carico idraulico sulle infrastrutture e strutture idrauliche di contenimento sul tratto terminale del Fiume Albegna, per la mitigazione del rischio idraulico sull'abitato di Albinia;*
- b. Compensazione della pericolosità idraulica indotta dalla realizzazione dell'argine remoto, previsto tra il Ponte della Marsiliana e la confluenza del Torrente Patrignone.*

La capacità di invaso del tratto finale del fiume Albegna, implementata con lavori di arginatura relativamente recenti, è di fatto limitata dalla presenza degli attraversamenti della SS.n° 1 Aurelia e della Ferrovia Pisa Roma che presentano una quota di impalcato significativamente inferiore alla testa dell'arginature; In occasione di eventi di piena le due strutture di attraversamento

potrebbero quindi rappresentare un ostacolo al deflusso delle portate con funzionamento in pressione dell'impalcato. Tale condizione può di fatto inficiare la funzionalità delle opere di contenimento arginale oltre alla stabilità stessa dei Ponti.

L'area di cassa sarà delimitata da arginature con quota di coronamento pari a 4.50 m s.l.m., in grado di garantire un franco idraulico adeguato sopra il massimo livello d'invaso per l'evento duecentennale. Il Canale Scolmatore avrà la funzione di allontanamento delle acque di esondazione sfiorate in cassa fino a mare.

Per la realizzazione della Cassa di Espansione di Campo Regio sono previste una serie di opere che possono essere sintetizzate come di seguito riportato:

- *Manufatto di alimentazione della cassa di espansione e del Canale Scolmatore; la cassa è alimentata da un manufatto di presa da realizzarsi sull'arginatura Destra del F. Albegna a monte dell'attuale confluenza del Canale Principale n° 2 con la Controfossa destra del F. Albegna; Il manufatto è costituito da 16 paratie di dimensioni pari a circa 6 x 3 m, incastonate in una opere di sviluppo trasversale pari a circa 120 metri.*
- *Canale scolmatore e manufatti di controllo dello stesso; Il canale scolmatore di larghezza utile pari a circa 60 metri, trasferisce direttamente a mare i volumi di piena temporaneamente immagazzinati dalla cassa attraverso un manufatto di controllo; Il canale scolmatore ha una lunghezza pari a circa 1.2 km. Il presidio idraulico in testa al Canale è rappresentato da 7 paratie di dimensioni pari a circa 6 x 3 m, incastonate in una opera di sviluppo trasversale pari a circa 70 metri;*
- *Manufatti di interferenza fra il canale scolmatore e le principali reti infrastrutturali (SS 1 Aurerila, Linea ferroviaria Pisa Roma);*
- *Modifica al reticolo di Bonifica; Il progetto prevede la riorganizzazione e l'adeguamento del reticolo di bonifica esistente nell'area di Camporegio, i cui principali interventi sono:*
 - *L'arginatura del Torrente Albegnaccia in sinistra idraulica nel tratto a monte della cassa di espansione, la sua parziale deviazione all'interno dell'area di cassa per consentirne il passaggio nel nuovo attraversamento della Ferrovia Pisa Roma, e la ricongiunzione, a valle del rilevato ferroviario, all'attuale sedime della controfossa destra del F. Albegna;*
 - *La deviazione della Controfossa destra del F. Albegna per un tratto all'interno dell'area di cassa in modo da riconnettere il reticolo, a monte del rilevato ferroviario, al nuovo sedime del torrente Albegnaccia.*

- *La nuova inalveazione del Canale Principale n° 3 a valle dell'impianto idrovoro di Torre Saline, con nuovo recapitato a mare in destra idraulica dello scolmatore;*
- *Opere di presidio del reticolo di bonifica in corrispondenza delle arginature della cassa di espansione; Canale Secondario 6 e opera di immissione al Canale Principale 3 a monte del rilevato Ferroviario; quest'ultima avrà anche la funzione di scarico di esaurimento della cassa di espansione.*
- *Arginature della Cassa di Espansione; le arginature della cassa di espansione sono pensate per cinturare, con adeguati franchi di sicurezza rispetto ai massimi livelli idrometrici attesi, le aree destinate all'allagamento controllato. Le arginature sono generalmente chiuse su alti morfologici, consentendo l'accesso in cassa di gran parte del reticolo afferente all'area di Campo Regio; di altezza modesta, non superano mai i 3,5 metri dal Piano campagna, e sono progettate per garantire una facile manutenzione da parte dell'ente gestore nonché una facile connessione fra gli appezzamenti agricoli divisi della stesse. Tutte le arginature presentano una sommità arginale di larghezza minima di 4 metri con scarpe a pendenza 3/2. Lo sviluppo longitudinale delle nuove arginature è pari a circa 10 Km;*
- *Riassetto della viabilità pubblica esistente; Per quanto attiene l'assetto viario è prevista la modifica delle viabilità Vicinali e Comunali che dalla SS. N°1 Aurelia danno accesso alle aree edificate sul litorale e agli areali di Campo Regio; a tal proposito è stata ripensato il sistema di intersezioni a raso esistenti ed è stato previsto un nuovo attraversamento ferroviario in destra idraulica del canale scolmatore. Sul torrente Albegnaccia è inoltre previsto il rifacimento di due ponti; uno sulla Strada Provinciale n° 56 a sostituzione del ponte esistente; l'altro in corrispondenza dell'azienda agricola Il Tizzano, all'interno dell'area di Cassa. Sono inoltre previste modifiche alla viabilità vicinale e poderale;*
- *Opere di sistemazione morfologica degli areali oggetto di intervento; sono finalizzate all'approvvigionamento dei materiali idonei alla realizzazione delle arginature nonché alla ricollocazione all'interno del cantiere dei materiali escavati non idonei alla realizzazione delle arginature ma di alto pregio ambientale, trattandosi generalmente di suolo vegetale; Le aree di Scavo sono pari a circa 320000 mq.*

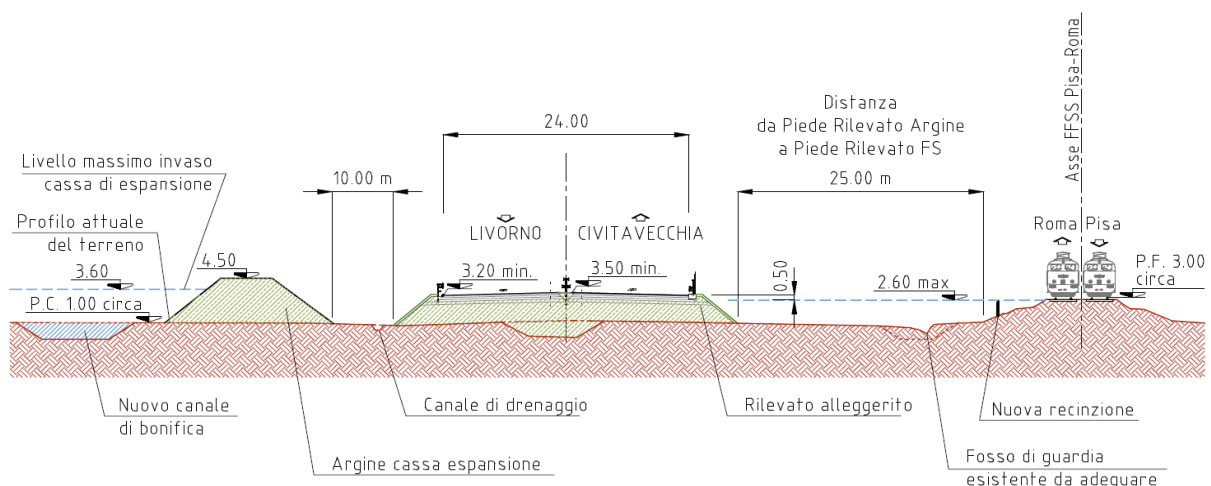
Con riferimento alle verifiche idrauliche riportate nel progetto definitivo della Cassa di Campo Regio risulta che le aree di cassa raggiungeranno un livello idrometrico di 3.2 m s.l.m. sullo scenario TR=200 anni di durata 12 ore con un volume statico di circa 6.6 milioni di mc. Sull'evento

duecentennale di durata 6 ore i livelli raggiunti sono pari a 2.8 m s.l.m. ed i volumi in cassa 5.1 milioni di mc. Sull'evento reale i volumi statici massimi arrivano a 8.2 milioni di mc con un livello idrometrico massimo di 3.6 m s.l.m.

Il progetto autostradale

Il progetto autostradale nel tratto in questione, procedendo dal t. Osa verso il fiume Albegna, prevede un rilevato in affiancamento alla sede ferroviaria da cui si distacca solo in corrispondenza degli attraversamenti, deviando verso monte. Nel tratto di affiancamento alla cassa d'espansione, il rilevato autostradale di progetto corre parallelo alla linea ferroviaria e all'argine in progetto della cassa di espansione, che viene riposizionato più a monte.

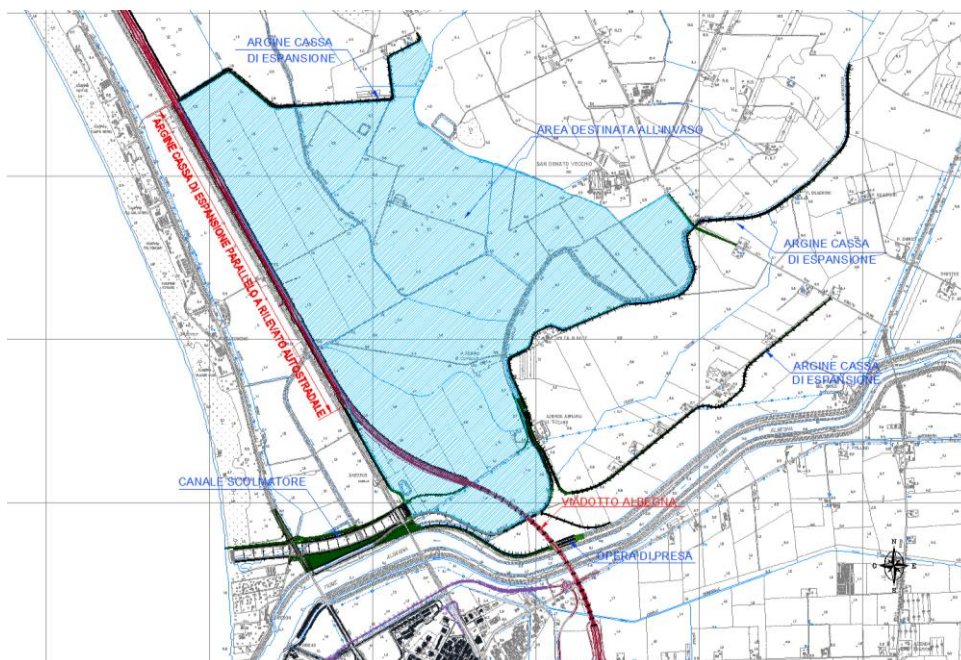
Assumendo a riferimento gli studi idrologico idraulici sviluppati nell'ambito delle attività di progettazione per la messa in sicurezza dell'area, la quota di livelletta in sicurezza assunta nella progettazione è di 3.20 m s.l.m. sui cigli di piattaforma (a fronte della quota massima di invaso dell'area esterna alla cassa, pari a 2.50 m s.l.m. a cassa realizzata e 2.60 in assenza di cassa), la sommità dell'argine della cassa di espansione è a quota 4.5 m s.l.m. (a fronte di un livello di massimo invaso di progetto nella cassa pari a 3.60 m s.l.m.). Il rilevato stradale manterrà una distanza da quello ferroviario di 25 m misurati al piede del rilevato, per limitare le deformazioni sulla linea ferroviaria. Similmente, il rilevato arginale della cassa di espansione sarà posizionato a 10 m dal rilevato autostradale. La quota autostradale risultante sarà leggermente superiore a quella del piano ferro.



Sezione tipo autostradale nell'area Campo Regio

Nell'ultimo tratto, in avvicinamento al nuovo viadotto del fiume Albegna, a partire dal punto di distacco dal parallelismo con la ferrovia, il rilevato avrà altezze crescenti fino alla parte in viadotto, configurazione che rende il tracciato idraulicamente trasparente per tutto il tratto interno alla cassa.

Il viadotto è costituito da 23 campate di luce variabile: 3 campate di luce 80 m per l'attraversamento dell'Albegna, 2 campate da 65 m ai lati dello scavalco e campate da 40-50 m man mano che ci si allontana dal fiume. L'opera d'arte prevista per lo scolmatore di progetto sul fiume è compatibile con le posizioni delle pile del viadotto. Come per il viadotto sul fiume Osa, alcune pile interferiscono con canali del reticolo di bonifica che verranno localmente deviati.



Planimetria area cassa di espansione Campo Regio

CONCLUSIONI

In relazione a quanto scaturito dalle analisi geotecniche su esposte, emerge che i cedimenti scaturiti dalla costruzione del rilevato autostradale nel contesto in esame, sono dell'ordine di diversi decine di centimetri. Tenuto conto che i cedimenti ammissibili dagli standard per l'esercizio ferroviario sono invece dell'ordine di millimetri, occorre distanziare dalla linea ferroviaria il rilevato autostradale e realizzarlo con materiali alleggeriti. Si evidenzia dai calcoli, adottando opportuni coefficienti di sicurezza, che tale distanza non può essere inferiore a 25 m

Per le stesse motivazioni anche la realizzazione del rilevato autostradale che abbia la funzione di argine della cassa non risulta percorribile: infatti una tale configurazione oltre che comportare un incremento dell'altezza del rilevato stesso, porterebbe con sé la necessità di adottare, per il corpo del rilevato materiale non alleggerito al fine di assolvere in maniera efficace la funzione di argine idraulico.

Maggiori altezze e materiali non alleggeriti comporterebbero un incremento dei cedimenti differiti nel tempo, con conseguenze dirette sui costi di realizzazione e di manutenzione della nuova infrastruttura autostradale e dell'argine stesso, senza poter escludere anche ulteriori effetti non sostenibili, sul rilevato ferroviario.

La soluzione progettuale proposta mostra i seguenti vantaggi:

- 1) Riduzione dei cedimenti indotti. Il progetto ha tenuto conto del rilevato ferroviario sia in termini effetti idraulici che geotecnici. La costruzione di un rilevato autostradale più basso, realizzato con materiali alleggeriti, consente di ridurre il carico sul terreno circostante l'autostrada e quindi contenere i cedimenti indotti al di sotto del rilevato ferroviario.
- 2) Semplificazione delle operazioni di realizzazione e manutenzione dell'argine della cassa. La soluzione con argine della cassa di espansione realizzato con materiali provenienti dagli scavi preparatori per il rilevato stradale e separato dal rilevato stradale ne consente una più agevole realizzazione, in quanto i due rilevati possono essere realizzati in tempi diversi e con modalità diverse, garantendo in ogni caso la sicurezza idraulica dell'infrastruttura. Inoltre, questo schema semplifica le operazioni di manutenzione dei rilevati.
- 3) Ottimizzare i movimenti di terra, recuperando parte dei volumi escavati per la bonifica preliminare che vengono destinati alla costruzione dell'argine di tenuta idraulica.