



**Approfondimenti sulle
operazioni di bonifica in
area A3**

Caratteristiche del substrato
marnoso e delle opere di
confinamento fisico del sito,
valutazioni sulle tecniche di
rimozione adottate e verifiche delle
operazioni di bonifica in area A3

Sito Ex-ACNA di Cengio (SV)

Preparato per:
Syndial S.p.A.

Settembre 2011

LIMITI

URS ha preparato il presente Rapporto affinché venga usato unicamente da Syndial S.p.A. secondo quanto indicato dal Contratto che regola la prestazione del presente servizio. Nessun'altra garanzia, espressa o implicita, è data sulla consulenza professionale inclusa nel presente Rapporto o su qualsiasi altro servizio da noi fornito. Sul presente Rapporto non dovrà far affidamento nessun'altra parte senza il previo ed espresso accordo scritto di URS. Salvo quanto altrimenti indicato nel presente Rapporto, la valutazione fatta parte dall'assunzione che i siti e le strutture continueranno ad essere utilizzate nel modo presente, senza apportare significativi cambiamenti. Le conclusioni e raccomandazioni formulate nel presente Rapporto sono basate sulle informazioni fornite da altri, assumendo che tutte le informazioni rilevanti siano state fornite da coloro ai quali sono state richieste. Le informazioni ottenute da terzi non sono verificate in modo indipendente da URS, salvo che non venga diversamente indicato nel Rapporto.

COPYRIGHT

© Il presente Rapporto è di proprietà di URS Italia S.p.A. e URS Corporation Limited. Qualsiasi riproduzione non autorizzata o utilizzo da parte di qualsiasi soggetto, al di fuori del suo destinatario, è strettamente proibito.

INDICE

Sezione	N° di Pag.
INTRODUZIONE E SOMMARIO.....	4
1. METODOLOGIA DI STUDIO.....	6
1.1. Esame degli studi sull'ammasso marnoso del sito.....	6
1.2. Verifica delle opere di confinamento fisico del sito.....	7
1.3. Valutazione delle tecniche di scavo e sopralluoghi in area A3.....	7
1.4. Verifica delle quote di fondo scavo.....	7
1.5. Analisi dei risultati dei campionamenti.....	8
2. CARATTERISTICHE DEL SUBSTRATO MARNOSO E DELLE OPERE DI CONFINAMENTO FISICO DEL SITO.....	9
2.1. Raccolta e Sintesi degli studi pregressi.....	9
2.1.1. Breve inquadramento geologico del sito.....	9
2.1.2. Raccolta degli studi sull'ammasso marnoso del sito.....	12
2.1.3. Analisi della documentazione acquisita.....	12
2.1.4. Riassunto delle proprietà dell'ammasso marnoso emerse dall'esame documentale.....	18
2.2. Analisi dei valori di permeabilità dell'ammasso.....	18
2.2.1. Cenni sulle prove di permeabilità effettuate.....	19
2.2.2. Database delle misure di permeabilità.....	19
2.2.3. Analisi dei valori di permeabilità.....	20
2.2.4. Valutazione della capacità di confinamento del substrato marnoso.....	22
2.3. Analisi delle opere di confinamento fisico del sito.....	24
2.3.1. Caratteristiche delle opere di messa in sicurezza del sito.....	24
2.3.2. Analisi dell'immorsamento delle opere arginali di contenimento nell'ammasso marnoso impermeabile.....	26
2.3.3. Analisi dell'immorsamento del setto di separazione Zone A1-A2 nell'ammasso marnoso impermeabile.....	27
2.3.4. Funzione del diaframma drenante di monte e del sistema di raccolta delle acque di falda interne.....	27
3. VALUTAZIONI SULLE TECNICHE DI SCAVO E SOPRALLUOGHI IN AREA A3.....	30
3.1. Generalità sul Progetto di Bonifica approvato.....	30
3.2. Caratteristiche geomeccaniche dei materiali da asportare.....	31
3.3. Tecniche di scavo per la bonifica.....	33
3.4. Esiti dei sopralluoghi eseguiti in area A3.....	33
3.4.1. Sopralluogo dell' 11 Ottobre 2011.....	34
3.4.2. Sopralluogo del 26 Gennaio 2011.....	34
3.4.3. Sopralluogo del 15 Aprile 2011.....	35
3.4.4. Sopralluogo del 5 Maggio 2011.....	35
3.5. Verifica dell'effettivo raggiungimento della marna integra nelle aree golenali.....	36

INDICE

Sezione	N° di Pag.
4. ATTIVITA' DI VERIFICA DELLA BONIFICA DELLE AREE GOLENALI	38
4.1. Verifiche delle attività di bonifica delle aree golenali.....	38
4.1.1. Modalità di verifica della bonifica	38
4.1.2. Attività di campionamento	39
4.2. Risultati delle verifiche integrative.....	40
4.2.1. Risultati delle indagini sui terreni di riporto del luglio-ottobre 2010.....	40
4.2.2. Risultati dei campionamenti sui terreni di riporto provenienti dagli scavi con benna	40
4.2.3. Risultati dei campionamenti delle acque di fondo scavo	41
4.2.4. Risultati dei campioni di terreno prelevati dai sondaggi spinti all'interno del substrato marnoso.....	41
CONCLUSIONI.....	42

ELENCO FIGURE NEL TESTO

Figura 2-1: Stralcio della carta geologica d'Italia (1:100.000) – Fg. 81 – CEVA.....	11
Figura 2-2: Analisi di frequenza dei valori di permeabilità ottenuti da prove Lugeon (valore unico per ciascun sondaggio).....	23
Figura 2-3: Sintesi degli interventi di cinturazione e confinamento idraulico	25
Figura 2-4: Schema dei livelli di controllo dei pozzi di raccolta del percolato (base del pozzo intestata nel tetto della marna)	29

ELENCO TABELLE NEL TESTO

Tabella 2-1: Elenco degli elaborati riportanti valori di permeabilità dell'ammasso marnoso (Raccolta 1)	14
Tabella 2-2: Elenco degli elaborati riportanti valori di permeabilità dell'ammasso marnoso (Raccolta 2)	15
Tabella 2-3: Elenco degli elaborati riportanti valori di permeabilità dell'ammasso marnoso (Raccolta 3)	16
Tabella 2-4: Elenco degli elaborati riportanti valori di permeabilità dell'ammasso marnoso (Raccolta 4)	17
Tabella 2-5: Distribuzioni in classi dei valori di permeabilità ottenute da tutte le prove Lugeon effettuate nel sito dal 1940 ad oggi.	22
Tabella 2-6: Distribuzione in classi di frequenza dei valori di permeabilità ottenuti da prove Lugeon (unico valore per ciascun sondaggio).	23

TAVOLE FUORI TESTO

Tavola 1	Planimetria del sito e ubicazione dei punti di caratterizzazione idraulica del substrato marnoso
Tavola 2a	Valori di permeabilità orizzontale del substrato marnoso misurati con Prove di tipo

INDICE

Sezione		N° di Pag.
	Lugeon	
Tavola 2b	Valori di permeabilità verticale del substrato marnoso desunti dalle prove Lugeon	
Tavola 3	Profilo geologico/geotecnico in asse all'opera arginale e profondità dell'opera di confinamento fisico	
Tavola 4a	Profilo geologico/geotecnico lungo il setto di separazione Zona A1-A Vertici V1-V5	
Tavola 4b	Profilo geologico/geotecnico lungo il setto di separazione Zona A1-A Vertici V5-V11	
Tavola 5:	Planimetria Zona Basso Piave e Zona Collinetta Ovest con indicazione delle indagini effettuate	
Tavola 6	Profilo geologico/geotecnico lungo l'opera di contenimento arginale	
Tavola 7a:	Sezione schematica passante per lo scavo 1	
Tavola 7b:	Sezione schematica passante per lo scavo 6	
Tavola 7c:	Sezione schematica passante per lo scavo 5	
Tavola 7d:	Sezione schematica passante per lo scavo 4	
Tavola 7e:	Sezione schematica passante per lo scavo 3	
Tavola 7f:	Sezione schematica passante per lo scavo 2	

ALLEGATI

Allegato 1: Database dei documenti di riferimento

Allegato 2: Contenuti e conclusioni di ciascun documento acquisito

Allegato 3: Database delle prove di permeabilità ed elaborazioni effettuate

Allegato 4: Documentazione fotografica dei sopralluoghi in area A3

Allegato 5: Risultati analitici dei campionamenti effettuati in area A3

Allegato 6: Certificati analitici dei campioni prelevati dai 53 sondaggi in area A3 (CD)

Allegato 7: Relazione Saipem *"Metodologia di asportazione del cappellaccio di alterazione del substrato marnoso"* agosto 2011

Allegato 8: Verbale di sopralluogo del 11-10-2010 redatto dal Dott. Longo

INTRODUZIONE E SOMMARIO

Nel corso delle attività di collaudo delle opere di bonifica delle aree golenali che Syndial sta realizzando nelle aree di proprietà in fregio al fiume Bormida, sono stati eseguiti alcuni campionamenti di terreni e di acque di fondo scavo che al riscontro analitico, in taluni casi, parrebbero indicare la presenza di inquinanti con valori superiori ai limiti di riferimento adottati per la bonifica.

Ancorché tali campionamenti siano stati eseguiti con modalità differenti da quelle previste dai Protocolli di campionamento concordate con gli Enti, tale circostanza ha suggerito l'opportunità di eseguire uno studio di approfondimento finalizzato, per un verso, a motivare le cause di tali rilievi e, per l'altro, a confermare l'adeguatezza delle modalità operative adottate per la realizzazione dei progetti approvati e ai fini del pieno conseguimento degli obiettivi di bonifica.

L'approfondimento è stato articolato attraverso tre fasi di studio tese ad acquisire ulteriori elementi di certezza in merito:

- al completo isolamento fisico delle aree interne dell'ex sito industriale (Capitolo 2);
- alla piena adeguatezza delle modalità tecniche con cui sono state condotte le operazioni di bonifica delle aree golenali (Capitolo 3);
- alla compatibilità tra i composti rilevati nei suddetti campionamenti e quelli ipotizzabili sulla base della pregressa contaminazione del sito (Capitolo 4).

Gli esiti degli studi effettuati nell'ambito del presente lavoro consentono di confermare rispettivamente:

- che l'isolamento fisico delle aree interne dell'ex sito industriale è sostenuto dalla presenza alla base di un substrato marnoso a permeabilità nulla o bassissima, spesso più di 150 m e dalla presenza, ai lati, di opere di confinamento fisico intestate per diversi metri nel substrato (fino a 8 – 10 m dal tetto della formazione), le cui caratteristiche progettuali e realizzative sono tali da escludere la migrazione della contaminazione presente all'interno verso le aree esterne;
- che, in base alle caratteristiche geotecniche e geomeccaniche dei materiali interessati dalle operazioni di scavo e scarifica, le modalità tecniche con cui sono state condotte le operazioni di bonifica delle aree golenali sono idonee al fine di garantire gli obiettivi di bonifica previsti dal Progetto approvato. A conferma di quanto sopra, sono stati effettuati 53 carotaggi con prelievo ed analisi di campioni all'interno del nuovo materiale di riporto, in accordo con il Protocollo in essere. Sui campioni prelevati sono stati ricercati i composti previsti dal Protocollo. Le concentrazioni rilevate evidenziano l'assenza di contaminazione a carico dei terreni di riporto: in tutti i campioni e per tutti i composti analizzati, le concentrazioni sono, infatti, inferiori ai limiti stabiliti dal D.M. 471/99 per la destinazione d'uso verde e residenziale;
- la piena compatibilità tra i composti rilevati sui campioni di cui trattasi e quelli ipotizzabili sulla base della pregressa contaminazione del sito. Mentre si richiama la circostanza che i risultati ottenuti da alcuni campioni prelevati possono non essere rappresentativi della reale qualità dei terreni di riporto, la presenza in essi di concentrazioni residue eccedenti gli obiettivi di bonifica può essere ricondotta al fatto che localmente, al tetto della marna integra, non si può

escludere la presenza di aree maggiormente depresse contestualmente alla presenza di contaminazione superficiale residua giustificata dal contatto prolungato con gli strati immediatamente superiori di terreni contaminati e di marna alterata ormai rimossi. Il ristagno in dette depressioni di acque di filtrazione può occasionalmente provenire anche da aree idrogeologiche limitrofe non ancora bonificate. Nel contesto dell'estensione dell'intera area bonificata e della complessità delle stesse attività di bonifica si ritiene che tali condizioni non abbiano rilevanza ambientale, in quanto locali e confinate. Una situazione analoga si era riscontrata in occasione della conclusione della bonifica del sito di Pian Rocchetta: in quel caso, all'evidenza del raggiungimento dello strato marnoso integro ed in relazione alle sue caratteristiche apparenti, sia la Provincia di Savona – Settore Tutela Ambientale – che il Commissario Delegato convenivano sull'assenza di elementi tali da suggerire ulteriori interventi di bonifica delle aree in questione.

1. METODOLOGIA DI STUDIO

Al fine del presente lavoro sono eseguiti diversi approfondimenti, in particolare:

- sono stati esaminati in modo dettagliato tutti i dati e le informazioni sulle caratteristiche del substrato marnoso del sito;
- sono state esaminate le caratteristiche progettuali e costruttive delle opere di confinamento fisico;
- sono state effettuate valutazioni sulle tecniche di bonifica adottate;
- sono stati effettuati sopralluoghi in area A3, nelle aree ove erano in corso le operazioni di scavo;
- sono state verificate le quote di fondo scavo effettivamente raggiunte, confrontandole con le quote del tetto della marna;
- sono stati esaminati i risultati dei campionamenti ed analisi sulle aree bonificate in zona A3, confrontandoli con le condizioni pre-bonifica.

Maggiori dettagli sulle attività effettuate sono riportate nei paragrafi seguenti.

1.1. Esame degli studi sull'ammasso marnoso del sito

Ai fini del presente lavoro sono stati ricercati ed analizzati in modo dettagliato tutti gli studi inerenti il substrato marnoso eseguiti dal 1940 ad oggi: in totale, sono stati acquisiti 54 studi, all'interno dei quali sono state rinvenute descrizioni geologiche, stratigrafie di carotaggi eseguiti nell'ammasso, risultati di prove geotecniche e risultati di prove di permeabilità, che sono state raccolte ed analizzate.

Tutte le informazioni stratigrafiche ed i valori di permeabilità sia orizzontali sia verticali sono stati quindi registrati su di un database, al fine di organizzare e rendere disponibili i dati per eventuali analisi ed elaborazioni statistiche. I dati ricavati sono stati valutati sia singolarmente, sia utilizzando metodi statistici, al fine di ricavare indicazioni complessive sulla capacità isolante del substrato.

Per facilitare il recupero delle informazioni anche in futuro, è stato creato anche un apposito database dei documenti che riporta, per ciascuno studio, diverse informazioni, tra cui la presenza nel documento di sezioni/stratigrafie e di prove di permeabilità che interessano l'ammasso marnoso. Gli studi acquisiti, qualora esistenti unicamente in formato cartaceo, sono stati scansionati per creare un archivio elettronico comprensivo e facilmente consultabile.

Ciascun documento acquisito è stato esaminato nel dettaglio, registrandone in sintesi lo scopo, le indagini effettuate e le conclusioni raggiunte. Per facilità di lettura, gli studi

acquisiti sono stati suddivisi in quattro raccolte principali, a seconda delle finalità per le quali sono state eseguite le indagini. La medesima suddivisione è riportata anche all'interno del database dei documenti di riferimento realizzato.

1.2. Verifica delle opere di confinamento fisico del sito

Sono state analizzate nel dettaglio le caratteristiche delle opere di cinturazione (opera di contenimento arginale e setto di separazione A1-A2), anch'esse intestate per diversi metri nel substrato marnoso. A tal fine sono stati raccolti ed esaminati i progetti esecutivi delle opere ed i documenti di as built finali. Tutti i dati sono stati controllati alla luce delle numerosissime informazioni di caratterizzazione del substrato rilevate longitudinalmente alle opere, verificando puntualmente le effettive profondità di immersione dei diaframmi plastici.

1.3. Valutazione delle tecniche di scavo e sopralluoghi in area A3

Sulla base delle caratteristiche geotecniche e geomeccaniche dei materiali da asportare è stata condotta una verifica sulla tecnica utilizzata per la rimozione dei terreni contaminati e dell'orizzonte della marna alterata (scavo con benna). Inoltre, nel periodo tra Gennaio e Maggio 2011, sono stati effettuati alcuni sopralluoghi in Area A3, ove erano in corso le attività di bonifica; i sopralluoghi sono stati compiuti allo scopo di verificare:

- l'efficacia delle tecniche di scavo e asportazione dei terreni contaminati e della marna alterata;
- le caratteristiche della marna di fondo scavo;
- la presenza di eventuali anomalie in corrispondenza delle celle di bonifica.

I risultati di tutte le analisi condotte, delle verifiche effettuate e dei sopralluoghi eseguiti sono dettagliatamente rapportati nel seguito della trattazione.

1.4. Verifica delle quote di fondo scavo

Per verificare ulteriormente l'effettivo raggiungimento del substrato marnoso integro, le quote rilevate di fondo scavo su tutte le aree già bonificate sono state confrontate con i profili e le sezioni geologiche delle aree golenali.

A tal fine sono stati acquisiti, analizzati e confrontati:

-
- a) gli studi, i dati e le elaborazioni pregresse di caratterizzazione geologica e geologico-tecnica delle aree golenali, acquisiti in occasione della progettazione (2000) e della realizzazione (2005) dell'opera di contenimento arginale (sia profili longitudinali sia sezioni trasversali);
 - b) i dati dei rilievi topografici delle quote di fondo effettivamente raggiunte al termine delle operazioni di scavo nelle aree golenali, prima del ricoprimento con nuovo riporto e della riprofilatura.

In particolare, sono stati esaminati il profilo geologico-tecnico che corre longitudinalmente lungo l'area Basso Piave e l'area Collinetta Ovest e le 6 sezioni trasversali più prossime agli scavi disposti dalla Commissione di Collaudo.

1.5. Analisi dei risultati dei campionamenti

I risultati analitici dei campionamenti effettuati negli scavi esplorativi e nei sondaggi geognostici sono stati confrontati con gli obiettivi di bonifica e valutati alla luce dei dati di caratterizzazione, che rappresentano le condizioni dell'area antecedenti le operazioni di bonifica.

2. CARATTERISTICHE DEL SUBSTRATO MARNOSO E DELLE OPERE DI CONFINAMENTO FISICO DEL SITO

Il sottosuolo del sito ex-Acna di Cengio è stato oggetto di numerose attività di indagine, eseguite con finalità anche molto diverse tra loro. Molte di queste hanno riguardato direttamente il substrato marnoso del sito, che è stato pertanto caratterizzato a più riprese ed in modo esaustivo, sia dal punto di vista geometrico e stratigrafico, sia dal punto di vista geomeccanico.

Ai fini del presente lavoro, URS, su richiesta di Syndial, ha raccolto ed analizzato nel dettaglio i risultati di tutte le indagini che nel corso degli anni hanno interessato il substrato marnoso. In particolare, sono stati acquisiti ed esaminati tutti gli studi eseguiti fino ad oggi sul substrato marnoso del sito (Allegati 1, e 2). Durante l'analisi documentale sono state raccolte ed analizzate tutte le stratigrafie e le prove di permeabilità effettuate. I dati ricavati sono stati valutati sia singolarmente, sia utilizzando metodi statistici, al fine di ricavare indicazioni complessive sulla capacità isolante del substrato (Capitolo 2 e Allegato 3).

Infine, sono state analizzate nel dettaglio le caratteristiche delle opere di cinturazione (opera di contenimento arginale e setto di separazione A1-A2), anch'esse intestate per diversi metri nel substrato marnoso, tramite l'esame dei progetti, delle numerosissime informazioni di caratterizzazione del substrato rilevate longitudinalmente alle opere e tramite la verifica puntuale delle effettive profondità di immersione dei diaframmi plastici.

Nel seguito vengono riportati tutti i dettagli e gli esiti delle analisi effettuate.

2.1. Raccolta e Sintesi degli studi pregressi

2.1.1. Breve inquadramento geologico del sito

Il sito dell'ex-Acna di Cengio è ubicato all'interno di un'ansa del fiume Bormida e sorge su di un complesso di alluvioni terrazzate, di pochi metri di spessore, in cui il fiume ha sovrainciso il suo attuale alveo.

I depositi alluvionali poggiano direttamente su di un ammasso roccioso di potenza dell'ordine del centinaio di metri (Figura 2-1), costituito da unità appartenenti al ciclo del Bacino Terziario del Piemonte (BTP). Le unità del Bacino Terziario del Piemonte si sono formate in età oligocenica a seguito della deposizione, in un bacino rapidamente subsidente, di notevoli spessori di sedimenti terrigeni derivati dallo smantellamento delle unità tettoniche alpine.

In particolare, come emerso dai risultati delle numerose campagne d'indagini eseguite a partire dal 1940, al di sotto dei terreni di riporto e delle alluvioni del sito, si rinviene un substrato marnoso ascrivibile alla Formazione di Rocchetta, visibile anche in affioramento nelle immediate adiacenze, ad esclusione della porzione sud-orientale, dove affiora la più recente formazione di Monesiglio.

La Formazione di Rocchetta è tipicamente costituita da marne di colore grigio o grigio azzurro, spesso divisibili in scaglie o lamine sottili che contengono intercalazioni e banchi di arenarie. Nella parte superiore della formazione i due tipi litologici si alternano ritmicamente. La sua deposizione è avvenuta in gran parte a sedimentazione normale, di tipo pelagico, con limitati episodi torbiditici più o meno regolarmente intervallati. Nell'area del sito la giacitura degli strati è sub-orizzontale, lievemente immergente verso sud-ovest.

La transizione con le sovrastanti alluvioni è caratterizzata, anche se in maniera discontinua, dalla presenza di un orizzonte di degradazione di spessore quasi mai superiore al metro, dovuto alla degradazione meteorica e agli squilibri meccanici sulle masse affioranti. Tale orizzonte è caratterizzato da consistenza mediamente plastica (attribuibile alla componente argillosa) e da indici di qualità geomeccanica RDQ bassi.

Nell'area è stato valutato, sulla base dei dati di perforazioni, uno spessore della formazione di circa 150 m. Le quote di rinvenimento del substrato variano generalmente tra 383 e 405,4 m s.l.m. La morfologia del tetto del substrato marnoso è condizionata oltre che dalle condizioni di giacitura degli strati anche da un alto morfologico, che si estende dal bordo nord est dello stabilimento fin circa all'altezza dell'Ex-Oleum, dove il salto morfologico si attenua sino ad annullarsi.


La Formazione di Monesiglio, che giace stratigraficamente al di sopra della Formazione di Rocchetta, è tipicamente costituita da arenarie in banchi di potenza metrica separati da sottili intercalazioni marnose e da alternanze di livelli marnosi e arenacei. I tipi litologici arenacei sono costituiti da quarzo prevalente e subordinata muscovite e frammenti di rocce cristalline in matrice calcitica. La marna, talora siltoso-sabbiosa, è grigia o grigio-azzurra, divisibile in scaglie. La Formazione di Monesiglio è legata solo in parte a condizioni di normale sedimentazione marnosa, prevalgono infatti vistosi episodi torbiditici di carattere prossimale, responsabili della sedimentazione dei potenti livelli sabbioso arenacei. Microtorbiditi sono invocate da Gnaccolini (1968) per spiegare le sottili sequenze ritmiche di tipo arenaceo marnoso. Nell'area rilevata lo spessore della formazione è di circa 100 m.


Carta Geologica




Area in esame

Legenda

- 

Depositi alluvionali ghiaiosi, sabbiosi e talora argillosi, attuali e recenti.
- 

FORMAZIONE DI MONESIGLIO. Sabbia gialla o rossastra in banchi da 50 cm a 4 m, con grossi noduli arenacei, conglomerato poligenico spesso con resti di lamelli-libranchi ed arenaria grigia in strati da 10 a 30 cm con sottili e rare intercalazioni marnose, costituenti nel loro assieme livelli fino a 60-80 m di spessore; marna grigia, talora fessile, localmente alternata ad arenaria in strati fino a 20 cm con strutture da corrente interne e basali, il tutto in livelli fino a 100 m di potenza. La formazione va progressivamente accentuando quest'ultimo carattere verso NE (Serole). Sono frequenti i seguenti Foraminiferi: *Globoquadrina dehiscens dehiscens* (CHAPMAN, FARR, & COLLINS) *Globoquadrina dehiscens advena* BERMUDEZ, *Globigerinoides trilobus trilobus* (REUSS) nella parte superiore; *Catapsydrax dissimilis* (CUSHMAN & BERMUDEZ), *Globigerina tripartita tripartita* KOCH *Globigerina venezuelana* HEDBERG e *Globigerina ampliapertura* BOLLI nella parte inferiore. ("AQUITANIANO" - OLIGOCENE SUPERIORE).
- 

FORMAZIONE DI ROCCHETTA. Marna talora siltoso-sabbiosa, grigia, grigio-nocciola o azzurra, spesso divisibile in scaglie o lamine sottili; nella parte medio-superiore localmente si alterna ad arenaria o a sabbia grigiastria, rossicce in superficie, in strati e banchi di spessore vario con impronte da corrente interne o basali. Nella zona di Ceva si intercalano marni calcaree in sequenze sottili, calcarenitiche inferiormente e con argilliti verdastre alla sommità. A NE, nella parte superiore della formazione, marna calcarea o calcari marnosi grigio-chiari, talora con arenarie glauconitiche grigio-brune e calcari bioclastici grigio-nocciola (M¹). Nei litotipi marnoso-argillosi sono frequenti i seguenti Foraminiferi: *Globigerinoides trilobus primordius* BLOW & BANNER, *Globigerinoides trilobus trilobus* (REUSS), *Globoquadrina dehiscens dehiscens* (CHAPMAN, FARR & COLLINS) nella parte stratigraficamente più alta della formazione; *Globigerina tripartita tripartita* KOCH, *Globigerina yeguaensis* WEINZIERL & APPLIN, *Globorotalia opima opima* BOLLI, *Catapsydrax dissimilis* (CUSHMAN & BERMUDEZ) nella parte stratigraficamente più bassa. Nei litotipi calcarei si segnala *Myogypsina intermedia-globulina*. ("AQUITANIANO" - OLIGOCENE SUPERIORE).

Figura 2-1: Stralcio della carta geologica d'Italia (1:100.000) – Fg. 81 – CEVA

2.1.2. Raccolta degli studi sull'ammasso marnoso del sito

Ai fini del presente lavoro sono stati ricercati ed analizzati in modo dettagliato tutti gli studi inerenti il substrato marnoso eseguiti dal 1940 ad oggi: in totale, sono stati acquisiti 54 studi, all'interno dei quali sono state rinvenute descrizioni geologiche, stratigrafie di carotaggi eseguiti nell'ammasso, risultati di prove geotecniche e risultati di prove di permeabilità. Oltre ai risultati delle prove, molti studi formulano inoltre conclusioni e considerazioni sulle caratteristiche dell'ammasso.

Per facilitare il recupero delle informazioni anche in futuro, è stato creato un apposito database dei documenti (Allegato 1). Esso riporta, per ciascuno studio, diverse informazioni, tra cui la presenza nel documento di sezioni/stratigrafie e di prove di permeabilità che interessano l'ammasso marnoso.

2.1.3. Analisi della documentazione acquisita

Ciascun documento acquisito è stato esaminato nel dettaglio, registrandone in sintesi lo scopo, le indagini effettuate e le conclusioni raggiunte.

In generale si è osservato che le indagini meno recenti (fino al 1988), essendo state effettuate per finalità assai diverse tra loro, sono distribuite in diverse aree dello stabilimento, mentre quelle più recenti, svolte prevalentemente a supporto delle opere di contenimento del sito, sono concentrate nelle aree ove sono state poi realizzate le opere (Tavola 1 fuori testo).

Per facilità di lettura, gli studi acquisiti sono stati suddivisi in quattro raccolte principali, a seconda delle finalità per le quali sono state eseguite le indagini. La medesima suddivisione è riportata anche all'interno del database dei documenti di riferimento riportato in Allegato 1.

Le quattro raccolte sono:

1. *Indagini Sottosuolo Stabilimento 1940-1997*: tale raccolta comprende tutte le indagini storiche effettuate presso il sito dal 1940 al 1997 con diverse finalità (stabilità sponde bacini, pozzo ad uso idropotabile, ecc.).
2. *Progetti esecutivi opere di contenimento realizzati tra il 1990 ed il 1999*: tale raccolta comprende i progetti esecutivi delle opere di contenimento (diaframma plastico golenale), intestate nel substrato marnoso, realizzate ad integrazione delle opere risalenti agli anni '80.
3. *Studi di caratterizzazione*: tale raccolta comprende lo studio per la valutazione preliminare del sito, la caratterizzazione generale e quella più specifica del sottosuolo eseguite tra gli anni 1998 e il 2001. Comprende anche gli studi effettuati appositamente sulle marne in occasione della definizione del piano di risanamento del sito (sondaggi profondi).
4. *Progetti delle opere arginali di contenimento delle piene e di messa in sicurezza permanente (2000-2008)*: tale raccolta comprende gli studi effettuati allo scopo di consentire la bonifica delle aree golenali e di proteggere l'area da possibili inondazioni.

Di seguito viene riportata una descrizione sintetica dei contenuti di ciascuna raccolta, illustrandone le finalità e le conclusioni a cui si è giunti nel tempo in merito alle caratteristiche e alle proprietà idrauliche dell'ammasso marnoso.

Contenuti e conclusioni della Raccolta 1 - Indagini Sottosuolo Stabilimento (1940-1997)

Questa raccolta comprende tutte le indagini effettuate nel sottosuolo dello Stabilimento di Cengio e nell'area di Pianrocchetta tra il 1940 e il 1997.

Alcuni di questi studi (27) contengono i risultati di indagini effettuate sul substrato marnoso e sono stati esaminati nell'ambito del presente lavoro. Le indagini descritte in questa raccolta (più di 50 sondaggi che hanno interessato l'ammasso, con 80 valori di permeabilità acquisiti) sono state realizzate per scopi diversi e presentano una distribuzione abbastanza eterogenea su tutta l'area di stabilimento (vedi Tavola 01). I dati presenti all'interno di questa raccolta sono stati presi in considerazione e riportati anche negli studi successivi, nell'ambito della progettazione degli interventi di messa in sicurezza e di bonifica.

Gli studi condotti tra il 1940 e il 1997 dimostrarono che la Formazione Marnosa di Rocchetta è, al di sotto del sito, spesso almeno 150 m e che la formazione non ospita una falda. Le prove di permeabilità in sito effettuate a diverse profondità nell'ammasso fornirono valori di assorbimento praticamente nulli, evidenziandone la generale impermeabilità. L'impermeabilità fu verificata anche in presenza di fratture, risultate completamente intasate da materiali argillosi impermeabili [rif 1 all.1F].

Rif.	Data	Nome Documento	n. di sondaggi eseguiti	n. di valori di permeabilità Lugeon
Rif. 1	ago-77	AII. 1B - ACNA S.p.A. Stabilimento di Cengio. Indagini Geotecniche per la realizzazione di bacini di discarica. Relazione Geotecnica. Tecnosol s.r.l.. 26 Agosto 1977.	4 Non nota localizzazione	1 valore
Rif. 1	apr-89	AII. 1C - ACNA Chimica Organica - Cengio. Relazione geologica sulla realizzazione di un pozzo profondo nell'ambito dello Stabilimento di Cengio. SELM Società Ingegneria Montedison. Mauro Molinari. Aprile 1989	1 Pozzo profondo (Fabbricato 223)	1 valore
Rif. 1	set-88	AII. 1D - ACNA Chimica Organica S.p.A. Caratterizzazione del sottosuolo dello Stabilimento. Mauro Molinari, PRAOIL - ENIMONT, 25 Ottobre 1989 (Allegato 1 : Stratigrafie sondaggi eseguiti dal 1940 al Luglio 1988 nello stabilimento ACNA C.O. di Cengio. Ottobre 1988.	Numerosi sondaggi nello stabilimento	5 valori in 5 fori in Area 15
Rif. 1	ott-88	AII. 1D - ACNA Chimica Organica S.p.A. Caratterizzazione del sottosuolo dello Stabilimento. Mauro Molinari, PRAOIL - ENIMONT, 25 Ottobre 1989 (Allegato 2-2bis : Relazione geotecnica su n°17 sondaggi geognostici effettuati nell'ambito dello Stabilimento ACNA C.O. di Cengio. Mauro Molinari. Ottobre 1988)	17 sondaggi nello stabilimento	13 valori in 12 fori
Rif. 1	set-	AII. 1D - ACNA Chimica Organica S.p.A.	24 sondaggi	50 valori in

Rif.	Data	Nome Documento	n. di sondaggi eseguiti	n. di valori di permeabilità Lugeon
	89	Caratterizzazione del sottosuolo dello Stabilimento. Mauro Molinari, PRAOIL – ENIMONT, 25 Ottobre 1989 (Allegato 4: Stratigrafie ed ubicazione sondaggi TMC. Edilsonda. Giugno/Settembre 1989)	nello stabilimento	17 fori

Tabella 2-1: Elenco degli elaborati riportanti valori di permeabilità dell'ammasso marnoso (Raccolta 1)

Una descrizione dettagliata delle finalità, dei dati presenti e delle conclusioni di ciascun documento esaminato è riportata in Allegato 2.

Contenuti e conclusioni della Raccolta 2 - Progetti esecutivi opere di contenimento (1990 – 1999)

Questa raccolta di documenti contiene i progetti esecutivi delle opere di cinturazione e confinamento di tutto il sito, intestate per diversi metri nel substrato marnoso, realizzate ad integrazione delle prime opere, risalenti agli anni '80. Queste opere sono costituite da tratti di barriera verticale con diaframma plastico con interposta geomembrana per uno sviluppo longitudinale di circa 2200 m. Nell'ambito di tali progetti sono state eseguite indagini geognostiche lungo il perimetro dello stabilimento al fine di indagare l'integrità dell'ammasso marnoso nel quale andavano ad instarsi le opere (vedi Tavola 01).

I risultati degli studi e delle prove effettuati (50 sondaggi che hanno interessato l'ammasso, con 89 valori di permeabilità acquisiti - Tabella 2-2) mostrano valori di permeabilità dell'ammasso molto bassi o nulli, confermando le ipotesi poste alla base dei progetti di messa in sicurezza e bonifica. In alcuni casi furono misurati valori di permeabilità bassa, in orizzonti prossimi al tetto del substrato marnoso, che può essere interessato da fenomeni di degrado della qualità dell'ammasso. Tali evidenze, giustificabili, non rappresentano comunque criticità in quanto le prove eseguite inferiormente a tali orizzonti hanno sempre fornito valori di assorbimento nullo.

Rif.	Data	Nome Documento	n. di sondaggi eseguiti	n. di valori di permeabilità Lugeon
Rif. 2	lug-90	ACNA C.O. Opere di contenimento Basso Piave - Seconda Fase - Volume 1 e 2- PROGETTO ESECUTIVO. Trevi/Tecnimont, Luglio 199 (Indagini geotecniche - Sondaggi geognostici. Trevi, Tecnimont, Aprile 1990)	13 in zona Basso Piave	20 valori in 11 fori
Rif. 3	gen-95	ACNA C. O. SpA in liquidazione, Enichem. Opere di contenimento Zona Parshall - PROGETTO ESECUTIVO. SGI. Gennaio 1995 (Risultati indagini geognostiche. Rev. 0-1. SGI, 23 Gennaio 1995)	4 in zona Parshall	4 valori in 4 fori
Rif. 4	lug-97	ACNA C. O. SpA in liquidazione, Enichem. Opere di contenimento Zona B - PROGETTO ESECUTIVO. SGI. Luglio 1997	4 in zona B	7 valori in 4 fori

Rif.	Data	Nome Documento	n. di sondaggi eseguiti	n. di valori di permeabilità Lugeon
		(Sondaggi geognostici opere di contenimento Zona B. SGI, 1997)		
Rif. 5	mag -99	ACNA C. O. SpA in liquidazione, Enichem. Opere di contenimento e drenaggio Zone A-B, B, B-C, C-D, D-E - PROGETTO ESECUTIVO. SGI, Maggio 1999	29 nelle zone: A-B, B, B-C, C-D, D-E	58 valori in 29 fori

Tabella 2-2: Elenco degli elaborati riportanti valori di permeabilità dell'ammasso marnoso (Raccolta 2)

Una descrizione dettagliata delle finalità, dei dati presenti e delle conclusioni di ciascun documento esaminato è riportata in Allegato 2.

Contenuti e conclusioni della Raccolta 3 - Studi di caratterizzazione (1998-2001)

Questa raccolta comprende gli studi integrativi finalizzati alla progettazione delle opere di bonifica e messa in sicurezza del sito ai sensi del DM 471/99. In tale occasione vengono eseguiti, anche a seguito di specifiche richieste degli Enti, alcune particolari indagini di approfondimento, finalizzate a confermare le ipotesi di base sulle quali fondare le opere di bonifica e messa in sicurezza (22 sondaggi che hanno interessato l'ammasso, con 45 valori di permeabilità acquisiti - Tabella 2-3).

Tra questi, gli studi sicuramente più significativi sono: lo studio rivolto alle caratteristiche dell'ammasso in corrispondenza delle lineazioni tettoniche principali (individuate come potenziali zone di maggior fragilità), eseguito tramite sondaggi inclinati e lo studio sulle caratteristiche dell'ammasso in profondità (6 sondaggi profondi).

In merito al substrato marnoso lo studio sui sondaggi inclinati conclude affermando che: *'la tenuta idraulica delle marne è garantita, fornendo una protezione efficace verso una eventuale contaminazione di acquiferi profondi'* [pag. 9].

Inoltre, lo studio sui sondaggi profondi afferma: *'la campagna di sondaggi effettuata per mettere in evidenza delle zone critiche del substrato marnoso arenaceo ha confermato la natura prevalentemente marnosa e la tenuta idraulica dello stesso. Numerose prove hanno dato valori di permeabilità nulli o molto bassi. In alcuni casi nelle porzioni più superficiali della Formazione o in livelli particolarmente fratturati, si hanno localmente valori di permeabilità più elevati, legati alla fessurazione dell'ammasso, che rientrano comunque sempre nella classe di permeabilità bassa. Si può concludere quindi che:*

- *il substrato si presenta compatto (elevato valori di RQD¹) e prevalentemente marnoso;*

¹ RQD = Rock Quality Designation: esprime il grado di continuità di una ed è espresso come il rapporto tra la somma delle singole lunghezze dei pezzi di carota superiori ai 10 cm e la lunghezza della battuta carotata.

- le prove di permeabilità hanno fornito risultati soddisfacenti anche perché realizzate in condizioni sicuramente più gravose rispetto a quelle imposte dalla falda freatica presente in sito e che localmente potrebbero aver indotto ad un aumento della permeabilità misurata;
- anche nel caso di fratturazione profonda, e quindi di un eventuale relativo aumento di permeabilità, il notevole spessore e la continuità laterale e verticale della formazione marnosa fanno sì che questi episodi siano confinati localmente. Comunque anche prove effettuate in corrispondenza di fratture evidenti hanno dato valori di permeabilità molto bassi;
- i valori più elevati si trovano nella parte sommitale della formazione e comunque in presenza dei livelli più arenacei in quanto, tali livelli, si sono comportati in maniera più competente durante gli episodi tettonici o sono risultati più alterati della frazione più marnosa;
- durante la perforazione non si sono riscontrate falde acquifere all'interno della formazione marnosa arenacea confermando quindi le caratteristiche di acquiclude di tale litotipo;
- dal punto di vista idrogeologico non si riscontra la presenza di una circolazione idrica profonda.

Rif.	Data	Nome Documento	n. di sondaggi eseguiti	n. di valori di permeabilità Lugeon
Rif. 7	nov-98	ACNA CHIMICA ORGANICA SpA IN LIQUIDAZIONE - Caratterizzazione del sottosuolo dello Stabilimento ACNA C.O. di Cengio (SV) - Relazione Tecnica (REL. 07). Consorzio Basi, Novembre 1998	9 Non nota localizzazione di 3 sondaggi	9 valori in 9 fori
Rif. 8	giu-98	ACNA C.O. in liquidazione di Cengio (SV). Piano di risanamento dello stabilimento - Parte F - Caratterizzazione substrato marnoso (REL. 09 - 09/1 - 09/2 - 09/3). Consorzio Basi, Giugno 1998	7 sondaggi profondi inclinati	17 valori in 6 fori
Rif. 10	mar-01	ACNA C.O. in liquidazione di Cengio (SV). Caratterizzazione del sito ACNA. Rapporto Finale (REL. 12). Consorzio Basi, Aprile 2001 Allegato 5 - Rapporto relativo alla realizzazione di n°6 sondaggi profondi. Consorzio Basi, Marzo 2001	6 sondaggi (zone A1 - A2 - A3)	19 valori in 6 fori

Tabella 2-3: Elenco degli elaborati riportanti valori di permeabilità dell'ammasso marnoso (Raccolta 3)

Una descrizione dettagliata delle finalità, dei dati presenti e delle conclusioni di ciascun documento esaminato è riportata in Allegato 2.

Contenuti e conclusioni della Raccolta 4: Progetti delle opere arginali di contenimento delle piene e di messa in sicurezza permanente (2000-2008)

Questo gruppo contiene le progettazioni delle opere di confinamento definitivo del sito (sistema di contenimento arginale, setto di separazione A1, A2), tutte intestate per diversi metri all'interno dell'ammasso marnoso. Tali opere, integrando il sistema di contenimento già realizzato precedentemente, sono state finalizzate e dimensionate per giungere alla messa in sicurezza permanente del sito.

Nell'ambito di questi progetti sono state eseguite ulteriori indagini sulle condizioni dell'ammasso marnoso, tutte corredate di prove di permeabilità di tipo Leugeon e di tipo Lefranc (66 sondaggi che hanno interessato l'ammasso, con 149 valori di permeabilità acquisiti Tabella 2-4).

Le indagini concludono che "il substrato litoide, costituito prevalentemente dalle marne di Rocchetta, presenta una permeabilità generalmente bassa ($k < 10^{-7}$ cm/s), salvo che nelle porzioni sommitali del substrato marnoso in alcune aree, dove il grado di fratturazione della roccia determina una permeabilità secondaria caratterizzata da valori di k compresi tra 10^{-4} cm/s e 10^{-6} cm/s" e "l'ottimo grado di impermeabilità della formazione profonda (...) In generale si sono rilevati assorbimenti nulli per i primi gradini di prova, mentre in seguito i valori di permeabilità rilevati risultano dell'ordine di 10^{-6} - 10^{-7} cm/s solo per pressioni di 2,50 atm."

In particolare, in occasione della progettazione del setto di separazione tra la Zona A1 e la Zona A2, nel periodo 2004 – 2006, vengono eseguite nuove campagne di indagini e di prove di permeabilità lungo tutto lo sviluppo longitudinale dell'opera. Tali indagini concludono che *il substrato marnoso presenta una permeabilità generalmente bassa ($k < 10^{-9}$ m/sec), salvo che nelle porzioni sommitali del substrato marnoso in alcune aree, dove il grado di fratturazione della roccia determina una permeabilità secondaria caratterizzata da valori di k di 10^{-7} m/s paragonabile comunque ai valori di permeabilità tipici di terreni impermeabili quali le argille.*

Rif.	Data	Nome Documento	n. di sondaggi eseguiti	n. di valori di permeabilità Lugeon
Rif. 13	ott-01	ACNA C.O. in liquidazione. Opere di contenimento e drenaggio per le piene del Fiume Bormida - Indagine Geognostica. RCT Srl, Ottobre 2001	20 nelle zone: Basso Piave, A, A-B, C, C-D, D, D-E	30 valori in 20 fori
Rif. 17	mag-00	ACNA C.O. in liquidazione. Enichem. PROGETTO PRELIMINARE per la riduzione dell'ingresso di acqua lato monte e lato Donegani. SGI, 24 Maggio 2000	4 in zona Ponte Donegani e lato Ferrovia	9 valori in 4 fori
Rif. 22	ott-04	SYNDIAL S.p.A. - Cengio (SV). Messa in sicurezza permanente - Zona A1- Setto separazione zone A1 e A2 PROGETTO DEFINITIVO - Risultati indagine geognostica e relazione geotecnica	42 (zone A1 - A2)	110 valori in 42 fori

Tabella 2-4: Elenco degli elaborati riportanti valori di permeabilità dell'ammasso marnoso (Raccolta 4)

Una descrizione dettagliata delle finalità, dei dati presenti e delle conclusioni di ciascun documento esaminato è riportata in Allegato 2.

2.1.4. Riassunto delle proprietà dell'ammasso marnoso emerse dall'esame documentale

La raccolta delle indagini effettuate nel corso degli anni delinea in modo esaustivo il quadro delle proprietà geomeccaniche ed idrauliche del substrato marnoso del sito di Cengio.

Le numerose campagne di sondaggi e di prove eseguite, di cui molte all'interno delle zone considerate più critiche, hanno sostanzialmente confermato la natura marnosa e la tenuta idraulica dello stesso: le prove idrauliche hanno sempre fornito valori di permeabilità nulli o molto bassi. A conferma di ciò, nelle perforazioni non sono state mai state riscontrate falde acquifere all'interno della formazione.

Le indagini hanno anche individuato, nelle porzioni sommitali della formazione marnosa, un orizzonte di alterazione di spessore quasi mai superiore al metro, caratterizzato da consistenza mediamente plastica e dalla presenza di fessurazioni. Per quanto concerne la relazione tra gli eventuali elementi disgiuntivi e permeabilità è stato osservato che in corrispondenza di tali elementi è presente un riempimento siltoso-argilloso che le sigilla e ne riduce la permeabilità. Il notevole spessore e la continuità laterale e verticale della formazione marnosa fanno sì che i pochi valori riscontrati di permeabilità superiori a 10^{-7} cm/s, che sono state riscontrate nella parte sommitale della formazione, ovvero quella più disturbata, siano confinati localmente. Le prove eseguite inferiormente a tali orizzonti hanno sempre fornito comunque valori di assorbimento nullo o molto basso.

Inoltre, le numerose prove di permeabilità effettuate in laboratorio su campioni di marna, hanno fornito valori bassissimi di permeabilità (dell'ordine di 10^{-11} cm/sec), confermando la natura impermeabile di tale litotipo.

2.2. Analisi dei valori di permeabilità dell'ammasso

Durante l'analisi documentale sono state raccolte ed analizzate tutte le stratigrafie e le prove di permeabilità effettuate. Tutte le informazioni stratigrafiche ed i valori di permeabilità sia orizzontali sia verticali sono stati quindi registrati su di un database, al fine di organizzare e rendere disponibili i dati per eventuali analisi ed elaborazioni statistiche.

I dati di permeabilità sono stati quindi valutati sia singolarmente, sia utilizzando metodi statistici, al fine di ricavare indicazioni puntuali e complessive sulla qualità e sulle caratteristiche dell'ammasso.

Nei paragrafi seguenti viene fornita, oltre ad un breve cenno sulle metodologie delle prove di permeabilità effettuate, la descrizione del database realizzato ed i risultati dell'analisi dei dati.

2.2.1. Cenni sulle prove di permeabilità effettuate

Nell'ammasso marnoso sono state effettuate prove di permeabilità sia di tipo Lugeon che di tipo Lefranc, interessando il substrato marnoso a diverse profondità. Al fine di comprendere il significato dei diversi valori di permeabilità si richiamano brevemente le metodologie delle prove eseguite.

Le **prove di tipo Lugeon** permettono di valutare in sito la permeabilità di formazioni rocciose più o meno fratturate. Tali prove vengono effettuate immettendo acqua in pressione su tratti prestabiliti di un foro di sondaggio e misurandone l'assorbimento nell'unità di tempo. La permeabilità della roccia così misurata viene generalmente espressa in unità LUGEON (= permeabilità di un ammasso roccioso che assorbe 1 litro di acqua al minuto per ogni metro di foro, con una pressione di prova di 10 atm).

E' doveroso ricordare che le prove Leugeon effettuate in fase di caratterizzazione del substrato marnoso del sito sono state eseguite cautelativamente in corrispondenza delle zone considerate più critiche, ovvero nei punti in cui dalle carote estratte veniva riscontrata la presenza di fratture. I risultati sono da riferirsi, quindi, a condizioni estremamente conservative rispetto alla condizione complessiva dell'ammasso.

Le **prove di tipo Lefranc** servono a determinare in sito la conducibilità idraulica dei terreni; a seconda della geometria realizzata in corrispondenza del tratto di foro prescelto e quindi della direzione del flusso che si instaura durante la prova, la permeabilità misurata sarà quella orizzontale (K_h), quella verticale (K_v) o una media tra le due ($K_h \cdot K_v$). Si eseguono misurando gli assorbimenti di acqua, facendo filtrare quest'ultima attraverso un tratto di foro predeterminato e vengono eseguite in fase di avanzamento nella perforazione in terreni generalmente non rocciosi. Nel caso in esame delle marne, sono state effettuate delle prove di tipo "Lefranc modificato", costituite da due fasi:

- nella prima fase, la prova consiste nel misurare l'assorbimento d'acqua (con carico idraulico variabile) attraverso il solo fondo foro, opportunamente isolato;
- nella seconda fase, si misura la quantità d'acqua assorbita attraverso un tratto (tasca) di lunghezza pari ad almeno 3 volte il diametro del foro, tratto da cui si è represso il carotiere.

Il confronto tra le due fasi di prova ha permesso di stimare il valore della permeabilità orizzontale e della permeabilità verticale, facendo riferimento a "STEI Two Stage – Field Permeability Test" della Soil Testing Engineers 1983.

2.2.2. Database delle misure di permeabilità

Tutte le informazioni disponibili sono state raccolte in un unico database (Tabelle in Allegato 3), al fine di organizzare e creare un gruppo omogeneo e completo di dati per le analisi e le elaborazioni statistiche. Il database è stato popolato con le principali caratteristiche del substrato marnoso e dei valori di permeabilità ottenuti dalle prove in sito, analizzando nel dettaglio, una per una, le stratigrafie di tutti i sondaggi reperiti e le schede delle prove di permeabilità.

Nel database sono state riportate, oltre alle singole misure di permeabilità, anche altre informazioni fondamentali all'interpretazione di ciascun valore, quali le profondità degli orizzonti di marna alterata e marna integra ricavati dall'esame di ciascuna stratigrafia, le profondità del tratto in prova ed i riferimenti documentali (coerenti con l'archivio elettronico ed il database documentale). Nel database sono state inoltre distinte le prove tipo Lugeon da quelle Lefranc modificate e le permeabilità verticali da quelle orizzontali.

Ciascuna prova di permeabilità eseguita costituisce un record del database, cui sono attribuiti diversi campi:

- ID del sondaggio;
- Coordinate X ed Y del sondaggio e localizzazione;
- Fonte (nome del documento da cui è stata tratta l'informazione);
- Profondità (m dal p.c.) del sondaggio in cui è stata fatta la prova di permeabilità;
- Profondità (m dal p.c.) della marna alterata e di quella integra riscontrata nel sondaggio;
- Tipo di prova di permeabilità (Lugeon o Lefranc modificata);
- Profondità della prova di permeabilità (intervallo);
- Valore di permeabilità riportato nel documento (p.e. 'assorbimento nullo' o '<10⁻⁷ cm/s');
- Pressione alla quale è stata effettuata la prova (kg/cmq);
- Note riportate nelle stratigrafie.

Complessivamente il database risulta costituito da 183 sondaggi nei quali sono state effettuate 351 prove di tipo "Lugeon" e 55 prove di tipo "Lefranc modificato". Sono disponibili: 301 determinazioni di permeabilità orizzontale (Kh) e 110 determinazioni di permeabilità verticale (Kv) ottenuti da prove di tipo Lugeon; 51 determinazioni di permeabilità orizzontale (Kh) e 39 determinazioni di permeabilità verticale (Kv) ottenuti da prove di tipo "Lefranc modificato".

2.2.3. Analisi dei valori di permeabilità

Il database descritto al paragrafo precedente è stato utilizzato per effettuare analisi qualitative e quantitative in merito alla permeabilità dell'ammasso marnoso, facendo principalmente riferimento ai valori di permeabilità derivanti dalle prove di tipo Lugeon che risultano più adatte a descrivere le proprietà idrauliche di un ammasso roccioso.

Per poter effettuare le elaborazioni è stato necessario attribuire un valore numerico a ciascuna prova, adottando i seguenti criteri:

- laddove i documenti riportavano per le prove di permeabilità la dicitura '*assorbimento nullo*', si è attribuito a quella prova un valore di permeabilità pari a 10^{-10} cm/sec;

- laddove i documenti riportavano un valore di permeabilità espresso come '*< di*' (ad es. $< di 10^{-7}$ cm/s) è stato attribuito in via cautelativa il valore numerico riportato;
- laddove non fosse esplicitamente riportato il valore delle permeabilità verticale, esso è stato dedotto dai valori di permeabilità orizzontale forniti dalle prove di tipo Lugeon; come suggerito dal Progetto Esecutivo di "*Messa in sicurezza permanente Zona A1 - Setto di separazione zone A1 e A2 - Relazione Geotecnica*" i '*valori di permeabilità sono stati opportunamente ridotti adottando un rapporto di anisotropia $k_r/k_v=5$ (Daniel, 1989) coerente con i valori sperimentali ottenuti su prove nel substrato marnoso*'.

Sono state quindi ottenute due serie di dati: una serie di valori di permeabilità orizzontale ed una serie di valori di permeabilità verticale, ciascuna delle quali composta da 300 valori di permeabilità, eseguite a diverse profondità in 170 fori di sondaggio (Tabelle in Allegato 3).

Considerando l'insieme di tutti i dati, ricavati da prove condotte in condizioni cautelative, si osserva che i valori di permeabilità oscillano in un range molto ampio: le permeabilità orizzontali sono comprese tra 10^{-3} cm/s e 10^{-10} cm/s, mentre le relative permeabilità verticali hanno valori compresi tra $2 \cdot 10^{-4}$ cm/s e $2 \cdot 10^{-11}$ cm/s.

Questo ampio intervallo di valori, che sembra impedire una definizione univoca delle condizioni dell'ammasso, è dovuto al fatto che i valori di permeabilità più elevati corrispondono ad orizzonti prossimi al tetto della Formazione, più frequentemente interessata da fenomeni di degradazione (e da RQD inferiore al 50%); tali livelli sono però seguiti o intercalati a orizzonti meno disturbati, con valori di permeabilità nulli.

Ad esempio, il valore di permeabilità orizzontale superiore a 10^{-3} cm/s è relativo ad una prova eseguita in un orizzonte alterato prossimo al tetto della formazione (sondaggio A4b.35), pertanto non può essere rappresentativo delle condizioni dell'ammasso. Nel medesimo sondaggio le due prove Lugeon effettuate negli orizzonti immediatamente inferiori presentano invece valori di permeabilità k_h pari a 10^{-10} cm/s.

Analogamente, anche per i 7 sondaggi nei quali sono stati riscontrati valori di permeabilità k_h compresi tra 10^{-3} e 10^{-4} cm/s sono state effettuate ulteriori prove a profondità maggiori, che hanno fornito valori di permeabilità o nulli o comunque inferiori, a garanzia del carattere impermeabile del sistema.

Per meglio definire le caratteristiche dell'ammasso nel suo insieme è risultato più utile effettuare una analisi dei valori più frequenti. A tal fine i valori di permeabilità sono stati raggruppati in classi di frequenza, secondo la seguente Tabella 2-5.

La maggior parte dei 300 valori di permeabilità orizzontale rilevati risulta compresa tra 10^{-6} e 10^{-7} cm/s, mentre la maggior parte dei 300 valori di permeabilità verticale rilevati risulta compresa tra 10^{-7} - 10^{-8} cm/s.

Si sottolinea che il valore di permeabilità che compare più frequentemente (moda dei valori) è pari a 10^{-7} cm/s per la permeabilità orizzontale e 10^{-8} cm/s per la permeabilità verticale.

CLASSI	Permeabilità [cm/s]	Frequenza	
		Kh	kv
1	1E-02 – 1E-03	1	0
2	1E-03 – 1E-04	7	1
3	1E-04 – 1E-05	24	13
4	1E-05 – 1E-06	49	34
5	1E-06 – 1E-07	114	43
6	1E-07 – 1E-08	39	111
7	1E-08 – 1E-09	27	32
8	<1,00E-9	39	66
<i>Totale valori</i>		<i>300</i>	<i>300</i>

Tabella 2-5: Distribuzioni in classi dei valori di permeabilità ottenute da tutte le prove Lugeon effettuate nel sito dal 1940 ad oggi.

2.2.4. Valutazione della capacità di confinamento del substrato marnoso

Ai fini di ottenere i dati necessari per valutare la reale capacità di confinamento dell'ammasso marnoso del sito di Cengio, considerando la molteplicità delle misure disponibili, è stato necessario attribuire a ciascuna verticale di indagine un unico valore di permeabilità.

Per ciascuna verticale di indagine è stato quindi estratto il valore più basso misurato, rappresentativo degli orizzonti in grado di garantire il confinamento (senza tenere conto, conservativamente, che il confinamento è garantito anche dal fatto che lo spessore dell'ammasso è maggiore di 150 m).

Seguendo questo criterio sono state ottenute due famiglie di dati di permeabilità (orizzontale e verticale), ciascuna costituita da 170 valori, uno per ciascuna verticale indagata. I valori sono riportati nelle tabelle in Allegato 3, mentre la distribuzione di tali valori nell'area del sito è riportata nelle Tavole 2a e 2b fuori testo.

Considerando questo secondo insieme di dati, si osserva che i valori di permeabilità oscillano in un range più ristretto: le permeabilità orizzontali rilevate sono comprese tra $2,3 \times 10^{-5}$ cm/s e 10^{-10} cm/s, mentre le relative permeabilità verticali hanno valori compresi tra $4,7 \times 10^{-6}$ cm/s e 2×10^{-11} cm/s.

Il valore medio di permeabilità orizzontale risulta pari a $4,7 \times 10^{-7}$ cm/s, mentre il valore medio di permeabilità verticale è pari a $9,3 \times 10^{-8}$ cm/s.

Nella tabella seguente e nella figura seguente è riportata la distribuzione in classi di frequenza dei valori di permeabilità ottenuti da prove Lugeon (unico valore per ciascun sondaggio), dalla quale si evince che la maggior parte dei valori di permeabilità verticale ricade nella classe inferiore a 10^{-7} cm/s.

I pochi valori superiori a 10^{-7} cm/s, che ricadono nelle classi 4 e 5, sono relativi ad orizzonti o prossimi al tetto dell'ammasso o molto più profondi rispetto all'intestazione delle opere di

cinturazione (> 20 m di profondità dal tetto dell'ammasso). Pertanto tali misure hanno scarso peso nella valutazione della capacità di isolamento delle opere.

CLASSI	Permeabilità [cm/s]	Frequenza	
		kh	kv
1	1,00E-02 - 1,00E-03	0	0
2	1,00E-03 - 1,00E-04	0	0
3	1,00E-04 - 1,00E-05	1	0
4	1,00E-05 - 1,00E-06	12	5
5	1,00E-06 - 1,00E-07	71	13
6	1,00E-07 - 1,00E-08	36	74
7	1,00E-08 - 1,00E-09	20	28
8	<1,00E-9	30	50
<i>Totale valori</i>		<i>170</i>	<i>170</i>

Tabella 2-6: Distribuzione in classi di frequenza dei valori di permeabilità ottenuti da prove Lugeon (unico valore per ciascun sondaggio).

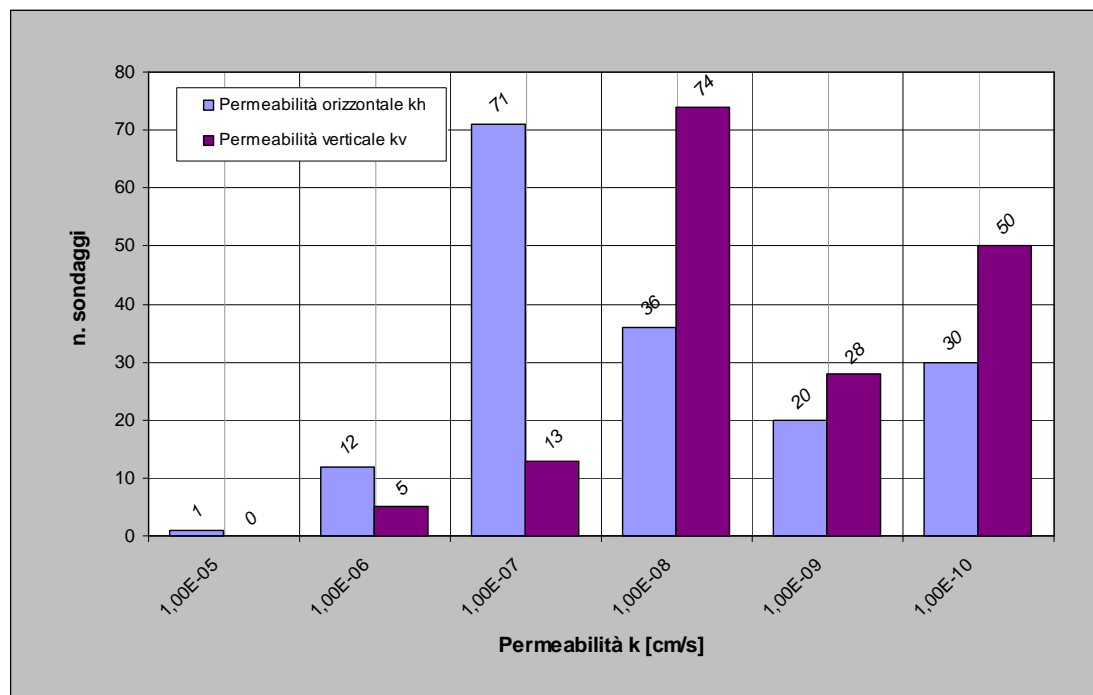


Figura 2-2: Analisi di frequenza dei valori di permeabilità ottenuti da prove Lugeon (valore unico per ciascun sondaggio).

L'analisi numerica conferma quanto già concluso dai diversi studi in merito all'impermeabilità del substrato marnoso, in quanto, oltre agli elevati valori di RQD (tipici di rocce compatte) le prove

effettuate in situ hanno fornito valori di permeabilità bassissimi o nulli, sebbene realizzate cautelativamente in corrispondenza delle zone più fratturate.

In alcuni casi, sempre negli orizzonti più superficiali della Formazione o in livelli particolarmente fratturati, sono stati rilevati localmente valori di permeabilità più elevati legati alla fessurazione dell'ammasso, che rientrano comunque sempre nella classe di permeabilità bassa.

In ogni caso, e' stata sempre verificata, inferiormente a tali orizzonti, laddove sono state intestate le opere di confinamento, l'esistenza di orizzonti di marna con ottime caratteristiche geotecniche, caratterizzati da assorbimento nullo nelle prove Leugeon e da valori di R.Q.D prossimi al 90%.

2.3. Analisi delle opere di confinamento fisico del sito

Le caratteristiche delle opere di Messa in Sicurezza Permanente della Zona A1 del sito (opera di contenimento arginale e setto di separazione A1-A2, intestate per diversi metri nel substrato marnoso) sono state analizzate attraverso il confronto fra i dati di permeabilità e di qualità dell'ammasso, rilevate nei sondaggi allineati longitudinalmente alle opere, le quote di immorsamento del diaframma plastico previste nel progetto esecutivo e le quote effettivamente raggiunte durante la loro realizzazione.

I risultati di tale analisi sono illustrati nei paragrafi seguenti.

2.3.1. Caratteristiche delle opere di messa in sicurezza del sito

La filosofia degli interventi di confinamento si basa sul fatto che l'ammasso marnoso della formazione di Rocchetta è lo strato di base impermeabile in grado di isolare il corpo dei materiali contaminati dalle componenti ambientali circostanti; sulla base di tutte le misure acquisite, infatti, la permeabilità verticale media (rilevante per il tempo di attraversamento del fondo) risulta inferiore a 1×10^{-9} m/s, su di uno spessore di ben 150 m.

Gli elementi che ad oggi costituiscono il sistema di confinamento sono (Figura 2-3):

- Opera arginale di contenimento delle piene del fiume Bormida e di contenimento e drenaggio delle acque di falda interne (in viola nella Figura 2-3);
- Setto di separazione Zone A1-A2" (in rosso nella Figura 2-3).

Le opere arginali di contenimento delle piene del fiume Bormida e di contenimento e drenaggio delle acque di falda interne si estendono complessivamente per circa 2.200 metri. Nel loro complesso, esse assolvono ad una triplice funzione: a quella più propriamente idraulica, di proteggere lo stabilimento dalle piene del fiume, la cui altezza è stata progettata per una di piena di 200 anni ($Q=1750 \text{ m}^3/\text{sec}$), si associano infatti una funzione idrogeologica, di impedire la migrazione della falda interna allo stabilimento verso l'esterno e quindi verso il fiume Bormida, e, in alcuni casi, una funzione strutturale, di sostenere i rinterri a tergo del muro dello stabilimento.

In particolare, si può dire che l'obiettivo di messa in sicurezza permanente dell'area interna al perimetro del muro di cinta esistente è stato raggiunto mediante un sistema integrato che si compone di diverse tipologie di opere, ciascuna pensata per svolgere una particolare funzione e tutte insieme necessarie ad isolare idraulicamente lo stabilimento dal Fiume Bormida:

- **un muro in calcestruzzo armato** impostato su due diaframmi pure in calcestruzzo armato (muro "a sedia"), fondati direttamente nel substrato marnoso. I due diaframmi in calcestruzzo, oltre a svolgere una funzione strutturale, proteggono il diaframma plastico da possibili azioni erosive del fiume (lato valle) e dalle deformazioni indotte dalla spinta delle terre (lato monte);
- **scogliere di protezione dall'erosione** in massi naturali lungo il tracciato, con geometrie diverse in relazione allo stato dei luoghi ed alle opere in progetto;
- **un diaframma plastico in miscela di cemento e bentonite** (all'interno del quale è posizionato un telo in polietilene ad alta densità), inserito tra i due diaframmi in calcestruzzo, che si immorsa nel substrato marnoso e costituisce una barriera impermeabile verso il Fiume Bormida;
- **un diaframma drenante (lato monte)**, che esercita la funzione di drenare le acque di falda interne, permettendone il controllo e la raccolta.

Entrambe le opere sono intestate per diversi metri all'interno dell'ammasso marnoso. A queste opere si associano altri interventi accessori, quali ad esempio una serie di interventi di regimazione delle acque superficiali e sotterranee provenienti dal versante posto a nord dello stabilimento (monte idrologico ed idrogeologico) con l'obiettivo di limitare l'ingresso nell'area del sito di acque provenienti dall'esterno e quindi minimizzare la potenziale formazione di percolato all'interno del sito (*"Interventi per la riduzione delle ingressioni superficiali e sotterranee lato Ponte Donegani e lato ferrovia - Snamprogetti, 2006"*).

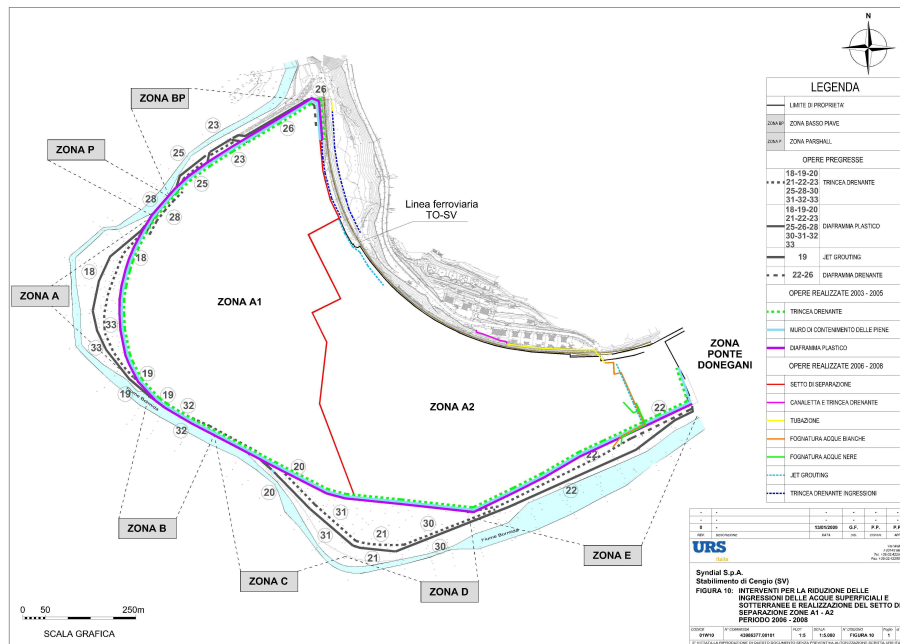


Figura 2-3: Sintesi degli interventi di cinturazione e confinamento idraulico

2.3.2. Analisi dell'immorsamento delle opere arginali di contenimento nell'ammasso marnoso impermeabile

L'opera di contenimento arginale della Zona A1 è stata progettata sulla base dei dati di tutti i sondaggi disponibili realizzati durante le varie fasi di indagine

Nella Relazione di Progetto dello Studio Geotecnico Italiano "*Opere arginali, di contenimento e drenaggio per le piene del fiume Bormida - Progetto esecutivo - Relazione geotecnica e Relazione di progetto*" del 24/06/2002 si riporta una discussione puntuale ed approfondita delle caratteristiche geologiche e delle proprietà del substrato marnoso, eseguita in funzione della progettazione del diaframma plastico intestato nell'ammasso marnoso.

Nella fattispecie, al fine di progettare le profondità di immorsamento del diaframma plastico definitivo all'interno del substrato marnoso, per ogni verticale di indagine ubicata lungo il tracciato futuro dell'opera, è stata calcolata la permeabilità equivalente, considerando che, su ogni verticale, un substrato a diverse permeabilità può essere assimilato ad un sistema in serie costituito da più tratti a diverse permeabilità: in tal modo si è tenuto conto di tutte le misure, senza effettuare medie matematiche.

Per ciascuna verticale di indagine si è progettata la profondità di immorsamento del diaframma plastico verificando quindi i tempi di attraversamento che una eventuale particella di percolato impiegherebbe per aggirare il diaframma plastico, partendo da una posizione ubicata immediatamente a ridosso dell'opera. Per ciascun tratto considerato, i tempi di attraversamento calcolati variavano da un minimo di 431 anni ad un massimo di 3.642 anni.

Il tempo di attraversamento deve essere soddisfatto anche per i fianchi dell'opera, nel caso particolare costituiti dal diaframma plastico stesso. Nello studio succitato il tempo di rilascio attraverso il diaframma plastico dello spessore di 1 m è stato calcolato pari a 1.744 anni.

Nel corso del presente studio, è stata effettuata una verifica della bontà costruttiva del diaframma plastico arginale, attraverso il confronto fra (Tavola 03):

- il profilo geologico-tecnico e le verticali di indagine (Sezione geologica tratta dal Progetto Esecutivo "Opere arginali di contenimento delle piene del Fiume Bormida e di contenimento e drenaggio delle acque di falda interne", SGI. Giugno 2002 - Rif.14 - Elaborati 06528-021D14÷18E04);
- le quote di ammorsamento del diaframma plastico come da progetto esecutivo (Rif.14 - dal Progetto Esecutivo SGI - Elaborato 06528-021D07E07);
- l'"AS BUILT" delle opere arginali (Rif 19 - "AS BUILT" TREVI/SNAM PROGETTI, varie tavole).

Dall'analisi si evince che il diaframma plastico è stato completamente ammorsato all'interno del substrato marnoso integro, laddove le prove di assorbimento in sito hanno manifestato assorbimento nullo.

E' stata inoltre verificata la generale corrispondenza fra quanto previsto nel progetto esecutivo e l'"AS BUILT" delle opere arginali. (vedi Tavola 03).

2.3.3. Analisi dell'immorsamento del setto di separazione Zone A1-A2 nell'ammasso marnoso impermeabile

Il setto di separazione costituisce il completamento del sistema di confinamento della Zona A1, assieme alle opere arginali di contenimento delle piene e di contenimento e drenaggio delle acque interne. Tale intervento, progettato da SnamProgetti S.p.A., ha comportato la realizzazione di una barriera impermeabile di tipo composito, intestata per diversi metri all'interno del substrato marnoso, analoga alle esistenti opere arginali.

La caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del sottosuolo propedeutica alla progettazione dell'opera è stata effettuata alla luce dei risultati emersi dalle campagne di indagine eseguite a più riprese nell'area interessata (Marzo-Luglio 2004, Marzo-Aprile 2006) lungo il tracciato dell'opera.

Il setto si raccorda alle estremità alle opere arginali formando quindi un unico bacino chiuso lateralmente e sul fondo (presenza del substrato marnoso impermeabile). I lavori per la costruzione del setto di separazione sono iniziati nel mese di novembre 2006 e sono stati completati nel giugno 2008.

Dal confronto effettuato nell'ambito del presente studio fra il profilo geologico-tecnico e la quota di base del diaframma (Tavole 4a e 4b) si evince che il diaframma plastico del setto A1-A2 è stato completamente ammorsato all'interno del substrato marnoso integro, caratterizzato da alti valori di RQD e valori di permeabilità nulli e che di fatto è da ritenersi completata l'opera di confinamento della Zona A1.

2.3.4. Funzione del diaframma drenante di monte e del sistema di raccolta delle acque di falda interne

Il diaframma drenante realizzato sul lato a monte dell'opera di contenimento arginale esercita la funzione di drenare le acque di falda interne, permettendone il controllo e la raccolta.

Esso è costituito da una tubazione in HDPE posta alla quota più bassa, da un riempimento in materiale drenante selezionato per un'altezza di almeno 3.0 metri, il tutto avvolto da un geotessuto a maglia larga del peso di 100 g/m² con funzione di filtro. Il riempimento a quote superiori è costituito da materiale di riporto granulare lavato ed in sommità si è posto in opera un tampone in argilla compattata di 1 metro di spessore.

La quota di fondo del diaframma drenante è stata tracciata sulla base del profilo del tetto della marna individuato secondo le indicazioni fornite dalle indagini geognostiche propedeutiche alla progettazione esecutiva degli interventi e dallo scavo del muro; nel corso della realizzazione, il diaframma ha raggiunto il tetto della marna litoide ed è stata mantenuta una pendenza minima del fondo (0.5%) verso i pozzetti di raccolta (cfr: "Nota tecnica sulle opere di contenimento e sul sistema di emungimento del percolato", Syndial, 06.07.2010).

Per l'emungimento delle acque di falda interna intercettate dalla trincea sono stati realizzati 28 pozzi di estrazione con diametro 800 mm, distribuiti lungo lo sviluppo longitudinale della stessa (19 nella zona A1 e 9 nella zona A2), attrezzati con elettropompe sommerse ad innesco automatico dotate di tutti i sistemi di sicurezza consistenti in:

-
- a) dotazione di ogni pozzo con una elettropompa a c.a. 20 cm dal fondo del pozzo (quindi in prossimità del tetto della marna);
 - b) posizionamento di interruttori galleggianti in numero di 3 per ogni pompa (un galleggiante per l'alto livello (avvio pompa) un galleggiante per il minimo livello (stop pompa) e un galleggiante per l'altissimo livello (allarme));
 - c) segnalazione alla sala quadro ITAR dei livelli suddetti.

I pozzi sono stati posizionati con passo 50/120 m in base alla conformazione del tetto della marna litoide e alle tipologie ed estensione delle opere. Gli interruttori di livello delle pompe nei pozzetti di raccolta sono posizionati in modo che le pompe entrino in funzione quando le acque di falda raggiungono il metro di spessore all'interno del dreno: in tal modo, il battente idraulico a monte dell'opera di contenimento arginale viene mantenuto sempre inferiore al metro di spessore (schema di Figura 2-4), eliminando ogni rischio di possibile "sifonamento" dell'opera e costituendo quindi un ulteriore elemento di sicurezza per il completo isolamento delle aree interne rispetto a quelle esterne.

SCHEMA POZZO

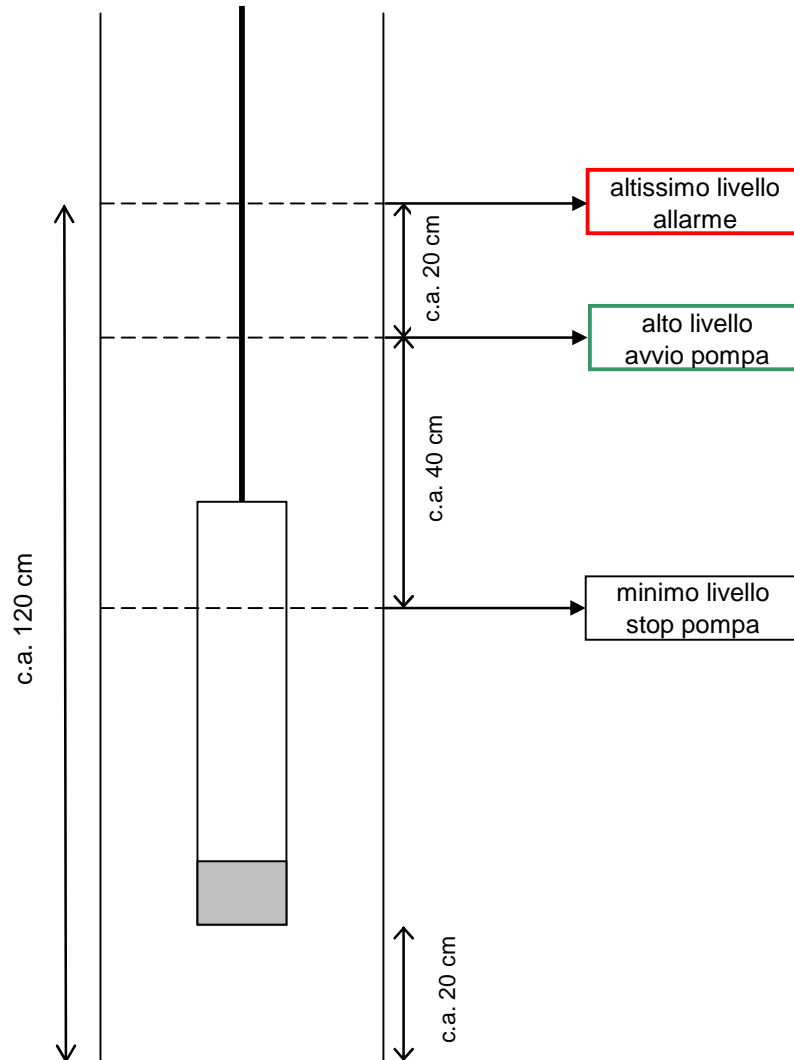


Figura 2-4: Schema dei livelli di controllo dei pozzi di raccolta del percolato (base del pozzo intestata nel tetto della marna)

3. VALUTAZIONI SULLE TECNICHE DI SCAVO E SOPRALLUOGHI IN AREA A3

Al fine di constatare l'effettivo raggiungimento dell'ammasso marnoso integro, URS Italia è stata incaricata di condurre una verifica sulla tecnica utilizzata per la rimozione dei terreni contaminati e dell'orizzonte di alterazione della marna, unitamente una serie di ricognizioni visive presso le aree già bonificate, prima della loro riprofilatura.

In aggiunta, per la conferma dell'effettivo raggiungimento del substrato, sono state inoltre confrontate le quote rilevate di fondo scavo su tutta le aree già bonificate con i profili e le sezioni geologiche ricostruite a partire da tutti i sondaggi di caratterizzazione dell'area [Studio Geotecnico Italiano – “Opere arginali, di contenimento e drenaggio per le piene del fiume Bormida” - Progetto esecutivo - Relazione geotecnica, elab. 06528-021R02E04 CHI-PAR-TUR-VEG/ac-pp-rt - 24 Giugno 2002].

I lavori di bonifica sono stati attivati nel 2008 iniziando dall'area Basso Piave; alla data della presente nota, sono state completate le operazioni di bonifica nell'area denominata “Basso Piave” e nelle aree denominate “Collinetta Ovest” e “Collinetta Sud”, mentre sono in corso di ultimazione gli interventi in zona E.

Nel seguito si riportano i risultati delle attività condotte.

3.1. Generalità sul Progetto di Bonifica approvato

Gli interventi di bonifica presso le aree golenali sono stati definiti nel documento Snamprogetti “Progetto esecutivo di Bonifica delle aree golenali-Zona A3 e Aree Pubbliche” – presentato da Syndial il 12/02/2008. Il progetto è stato approvato dalla Conferenza dei Servizi decisoria il 12/03/2008 ed autorizzato dal Commissario Delegato con il Provvedimento n. 58 del 10/04/2008.

Le aree golenali sono costituite dall'unione della Zona A3, introdotta nell'Accordo di Programma del 4/12/2000 e delle Aree pubbliche; tali aree sono così definite (Tavola 5):

- Zona A3: aree comprese tra le opere arginali di stabilimento ed il più esterno tra il limite di proprietà Syndial e le barriere golenali;
- Aree pubbliche: rimanente area esterna alla Zona A3, fino alla sponda destra dell'alveo di magra del fiume Bormida.

Il progetto approvato prevedeva che la bonifica avvenisse:

- in Zona A3, mediante l'asportazione di “tutti i terreni contaminati fino al raggiungimento delle CLA definite dal D.M. 471/99 per aree con destinazione d'uso verde pubblico, privato e residenziale”. Le profondità di scavo furono definite sulla base di celle 25 x 25 m, ognuna facente capo ad un sondaggio di caratterizzazione (Tavola 5);

- nelle Aree pubbliche, mediante l'asportazione di "tutti i terreni ricadenti nelle aree pubbliche fino al raggiungimento del substrato marnoso integro (= litoide, come riportato nell'allegata relazione della Direzione Lavori (SAIPEM-SPC. 00-BE-E-94043, Allegato 7),". Si specifica che le aree pubbliche non sono state suddivise in celle di asportazione.

Nonostante il progetto esecutivo di bonifica prevedesse in Zona A3 la possibilità di rimuovere unicamente i terreni di riporto senza raggiungere il substrato marnoso (previa verifica della conformità del fondo e delle pareti dello scavo con gli obiettivi di bonifica), in fase di esecuzione, la bonifica di ciascuna cella è avvenuta tramite asportazione della totalità dei terreni di riporto/alluvioni, fino al raggiungimento del substrato marnoso.

Il progetto prevedeva inoltre la sistemazione finale delle aree bonificate tramite la realizzazione di una berma a protezione delle opere arginali di stabilimento, di un argine sormontabile per lo smaltimento della portata dominante del Bormida entro l'alveo e la riprofilatura generalizzata delle aree.

3.2. Caratteristiche geomeccaniche dei materiali da asportare

Il materiale da asportare, sovrastante il substrato marnoso integro, è costituito da terreni di riporto e alluvioni, di natura prevalentemente granulare o debolmente coesiva e dall'eventuale orizzonte di alterazione del substrato marnoso, che raramente sviluppa una potenza superiore a 1 metro, caratterizzato da consistenza mediamente plastica (attribuibile alla componente argillosa) e/o indici di qualità RQD bassi.

L'ammasso marnoso, che nella Letteratura geologica corrente viene indicato come "Formazione di Rocchetta", è costituito da *marne grigiastre ben stratificate con subordinati livelli arenacei*. Il litotipo integro e compatto è molto consistente.

Di seguito si forniscono sinteticamente le caratteristiche geotecniche e geomeccaniche dei terreni interessati dalle operazioni di scavo (cfr. Studio Geotecnico Italiano – "Opere arginali, di contenimento e drenaggio per le piene del fiume Bormida" - Progetto esecutivo - Relazione geotecnica, elab. 06528-021R02E04 CHI-PAR-TUR-VEG/ac-pp-rt - 24 Giugno 2002 [Rif 2])

Terreno di riporto

Ghiaie sabbiose marroni, con qualche resto di laterizi e di calcestruzzo.

<i>Peso di volume naturale γ</i>	<i>1,80 t/m³</i>
<i>Angolo di attrito ϕ'</i>	<i>35÷42°</i>

Formazione alluvionale

Sabbie limoso-ghiaiose brune, con ciottoli.

<i>Peso di volume naturale γ</i>	<i>2,00 t/m³</i>
<i>Densità relativa D_r</i>	<i>40÷80%</i>
<i>Angolo di attrito ϕ'</i>	<i>39÷43°</i>
<i>Angolo di attrito ϕ_{cv}</i>	<i>20÷30°</i>
<i>Modulo elastico equivalente E'</i>	<i>200÷700 Kg/cm²</i>

Formazione marnosa

Le caratteristiche della formazione marnosa in corrispondenza dei sondaggi eseguiti possono essere anche descritte in base all'indice RQD (Rock Quality Designation), un indice per la classificazione geotecnica delle rocce sviluppata nel 1964 da D. U. Deere. Detta classificazione è basata sulla percentuale di frammenti di lunghezza maggiore di 10 cm recuperati in ogni manovra di un carotaggio, ed è usata come indice di qualità geomeccanica (resistenza alla compressione) degli ammassi rocciosi.

In particolare, nel sito sono state individuate:

- *Marne alterate o fratturate*, con RQD genericamente inferiore al 25%, ubicate al tetto della formazione;
- *Marne da moderatamente a mediamente fratturate*, con RQD genericamente intorno al 50%;
- *Marne mediamente resistenti e compatte*, con RQD genericamente intorno a 75% o superiore, ed intercalazioni di orizzonti di arenarie quarzose moderatamente fratturate.

I parametri geotecnici caratteristici dell'ammasso roccioso integro sono i seguenti:

<i>Peso di volume apparente γ</i>	<i>2,50 t/m³</i>
<i>Rottura a compressione monoassiale</i>	<i>19,4 MPa</i>
<i>Rottura a compressione triassiale</i>	<i>25,6 MPa</i>
<i>contenuto d'acqua</i>	<i>4,5%</i>
<i>modulo di deformazione tangenziale 50%</i>	<i>2670 MPa</i>
<i>Angolo di attrito ϕ_m</i>	<i>25°</i>
<i>Coesione C_m</i>	<i>20÷30 ton/m³</i>

Ove la marna si presenta alterata, il peso di volume può variare da 2,1 a 2,3 ton/m³, con resistenza a compressione minori.

3.3. Tecniche di scavo per la bonifica

Come riportato nella allegata relazione della Direzione Lavori (SAIPEM-SPC. 00-BE-E-94043, Allegato 7), le operazioni di scavo per il raggiungimento degli obiettivi di bonifica sono state eseguite tramite escavatori a braccio rovescio da 30/40 ton con benna liscia e a denti. Gli escavatori a braccio rovescio sono costituiti da una macchina cingolata di base sulla quale possono essere montati diversi tipi di equipaggiamenti, che rendono possibile lo svolgimento di diversi lavori. La rotazione della torretta e del braccio operativo consentono, inoltre, un'agevole operazione di carico sull'automezzo del materiale di risulta.

La scarifica della porzione superficiale alterata dell'ammasso marnoso è stata condotta sempre tramite escavatore a braccio rovescio, su cui è stata montata una benna con denti, in grado rimuovere porzioni di roccia coesive, debolmente cementate, quale ad esempio l'orizzonte che si rinviene al tetto della formazione.

A conferma dell'efficienza con cui è stata condotta la rimozione degli orizzonti superficiali alterati, dell'effettivo raggiungimento dell'ammasso marnoso integro e a testimonianza dell'elevato valore di resistenza a compressione monoassiale dello stesso, al termine delle operazioni di bonifica, per eseguire gli scavi per le opere accessorie (cassonetto per la fondazione della berma di protezione spondale, scavi per posa in opera di condotte quali il metanodotto, vasche di raccolta acqua, ecc.) è stato necessario utilizzare un martello demolitore idraulico con punta a scalpello montato sul braccio dell'escavatore.

Nella stessa relazione la Direzione Lavori segnala di aver effettuato, laddove è stato possibile, un riscontro altimetrico fra le quote della marna litoide rilevate nel corso della caratterizzazione del sito e quelle del fondo scavo di bonifica, accertando che queste ultime sono sempre inferiori o uguali alle quote della marna litoide riscontrate nel corso della caratterizzazione, circostanza che consente di confermare ragionevolmente l'adeguatezza della tecnica adottata nei confronti del pieno raggiungimento degli obiettivi di bonifica dei progetti approvati.

3.4. Esiti dei sopralluoghi eseguiti in area A3

Nel periodo tra Gennaio Ottobre 2010 e Maggio 2011, URS ha effettuato quattro sopralluoghi in Area A3, il primo dei quali insieme con il Dott. Longo, assistente della Commissione Collaudatrice, ove erano in corso le attività di bonifica. I sopralluoghi sono stati compiuti allo scopo di verificare:

- l'efficacia delle tecniche di scavo e asportazione dei terreni contaminati e della marna alterata;
- le caratteristiche della marna di fondo scavo;
- la presenza di eventuali anomalie presenti in corrispondenza delle celle di bonifica.

Si segnala che in data 15 Marzo 2011 è occorso un evento alluvionale, durante il quale il fiume Bormida è esondato nelle aree oggetto di bonifica depositando una coltre di materiale limoso/sabbioso.

Dopo l'alluvione, le aree interessate sono state nuovamente "ripulite" dal materiale di origine fluviale e ristabilite le condizioni originarie pre-alluvione, come dichiarato nel verbale ARPAL del 05/05/2011.

Vengono di seguito riportate le risultanze emerse dai sopralluoghi eseguiti. La documentazione fotografica dei sopralluoghi effettuati è riportata in Allegato 4.

3.4.1. Sopralluogo dell' 11 Ottobre 2011

L'esito del sopralluogo è rapportata nel Verbale di sopralluogo degli Assistenti della Commissione di Collaudo redatto dal Dott. Longo (Allegato 8); Il sopralluogo è stato effettuato sia in area Collinetta Sud sia in Zona E.

In area Collinetta Sud sono state esaminate le aree pertinenti alle celle 36, 37, 38, 39, 41, 44, 48 e 51 (situate a destra dell'uscita verso la Pista di Collegamento), constatando che il muro arginale non presentava evidenze di filtrazioni dall'interno; inoltre non sono risultate trafilature dal substrato marnoso messo a giorno.

In zona E sono stati osservati i lavori in corso per il by-pass del metanodotto SNAM, che hanno comportato lo scavo di una trincea interamente in marna lunga 150 m ca. Le pareti della trincea hanno consentito di osservare lo stato dell'ammasso fino a una profondità di 2 m dal tetto della marna integra raggiunta: sono risultate visibili le discontinuità date dalla stratificazione e da più insiemi di fatturazione. Inoltre, sono risultate ben visibili, grazie ai distacchi generati dall'azione di scavo, le superfici di alcune fratture che presentano strie e patine arenaceo-siltose. Lungo tutto lo sviluppo dello scavo, attraverso le varie discontinuità, non sono state riscontrate filtrazioni né dal lato interno (stabilimento) né dal lato esterno (fiume).

3.4.2. Sopralluogo del 26 Gennaio 2011

Il sopralluogo del 26 Gennaio 2011 è stato effettuato presso le celle 86÷115 (Zona E) dell'area A3, oggetto dell'intervento di bonifica dei terreni delle aree golenali (vds. fig. 1 All. 4).

Alla data del sopralluogo i terreni delle celle ispezionate risultavano quasi completamente rimossi, ad eccezione di una porzione a ridosso del vecchio diaframma plastico (lungo il cui asse è ubicata la pista di cantiere) e della porzione dell'area E che si estende a monte della tubazione scarico fiume, corrispondente alle celle 113÷122.

Nelle celle dove era stata completata la messa a giorno del substrato marnoso e raggiunta la quota definitiva di fondo scavo, la marna si presentava compatta, di colore grigio e senza tracce di alterazione (foto nelle Figure 2 – 4 in Allegato 4); sulla marna di fondo scavo erano visibili i solchi prodotti dai denti della benna a conferma che lo scavo del tetto marna è stata spinto sino al raggiungimento della marna integra (foto nelle Figure 5 e 6 in Allegato 4).

Non erano visibili evidenze di gocciolamenti e/o venute d'acqua, né sulla marna di fondo scavo, né in corrispondenza delle scarpate e dei gradini scavati in marna per la realizzazione del cassonetto dell'argine sormontabile o per la formazione delle vasche di raccolta dell'acqua.

3.4.3. Sopralluogo del 15 Aprile 2011

Il sopralluogo del 15 Aprile 2011 è stato effettuato presso le celle 113, 114, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, ove erano state completate le operazioni di bonifica previste dal progetto, con la rimozione dei terreni fino al raggiungimento del substrato marnoso integro e compatto.

L'area occupata dalle celle sopraindicate era stata anche liberata dal materiale depositato dal fiume Bormida durante l'alluvione del 15/03/2011.

La rimozione del deposito fluviale conseguente all'esondazione era stata eseguita fino all'allineamento delle celle 100÷102, procedendo da NE verso SW.

Alla data del sopralluogo, a seguito delle operazioni di scavo eseguite, nelle porzioni dove appariva visibile il substrato marnoso, lo stesso si presentava a colorazione grigia e a consistenza litoide, senza tracce di alterazione.

Nella stessa area si rilevava, in corrispondenza delle depressioni morfologiche esistenti sulla superficie del substrato marnoso e degli scavi appositamente realizzati per le lavorazioni (cassonetto per la realizzazione della berma di protezione spondale), la presenza di ristagni di acque superficiali causati dall'evento alluvionale e dalle perdite dalle due condotte di "Acqua tecnica" presenti in corrispondenza della cella 121. L'acqua accumulata, comunque, non presentava evidenze organolettiche.

Erano del tutto assenti venute d'acqua provenienti dall'ammasso roccioso, sia in corrispondenza del fondo scavo, sia presso le scarpate e nei gradini presenti in marna.

3.4.4. Sopralluogo del 5 Maggio 2011

Il sopralluogo del 5 Maggio 2011 è stato effettuato presso le celle 85, 86, 87 ed 88, che rappresentano la porzione più occidentale della "Zona E".

In corrispondenza di queste celle, ad esclusione della cella n°87, alla data del sopralluogo risultavano completate le operazioni di bonifica previste dal progetto per la zona E, con la rimozione dei terreni superficiali fino al raggiungimento del substrato marnoso compatto.

In corrispondenza della cella n°87, il substrato marnoso presentava un assetto morfologico superficiale piuttosto irregolare e, alla data del sopralluogo, non risultava ancora completata la rimozione dei depositi superficiali.

Negli avvallamenti presenti sulla superficie del substrato marnoso, era stata rilevata, infatti, la presenza diffusa di un deposito superficiale limoso/sabbioso scuro, del quale era in corso la rimozione.

In aggiunta alle celle suddette, erano state riverificate anche le celle dalla n°89 alla n°113, le quali, già bonificate ed oggetto di sopralluogo URS in data 26/01/2011, erano state successivamente ricoperte dal materiale depositato dal fiume Bormida durante l'esondazione del 15/03/2011.

Alla data del sopralluogo, in corrispondenza di queste celle, è stata constatata la completa rimozione del deposito di origine fluviale susseguente all'evento alluvionale, tramite benna liscia montata su escavatore a braccio rovescio.

Non erano state registrate venute d'acqua provenienti dall'ammasso marnoso il quale, a seguito delle operazioni di scavo eseguite, si presentava a colorazione grigia e a consistenza litoide, senza tracce di alterazione.

Procedendo verso la porzione NE della Zona E (celle già oggetto di precedenti sopralluoghi da parte di personale URS), in corrispondenza delle depressioni esistenti sulla superficie del substrato marnoso, erano stati rilevati degli accumuli idrici alimentati sia dalle infiltrazioni a monte (zona Ponte Donegani) delle acque del fiume Bormida, sia dalle perdite da condutture originariamente interrato e sezionate (linee "Acqua tecnica" in corrispondenza della cella 121).

L'acqua accumulata, comunque, non presentava evidenze organolettiche.

3.5. Verifica dell'effettivo raggiungimento della marna integra nelle aree golenali

Per verificare ulteriormente l'effettivo raggiungimento del substrato, le quote rilevate di fondo scavo su tutte le aree già bonificate sono state confrontate con i profili e le sezioni geologiche delle aree golenali.

A tal fine sono stati acquisiti, analizzati e confrontati:

- gli studi, i dati e le elaborazioni pregresse di caratterizzazione geologica e geologico-tecnica delle aree golenali, acquisiti in occasione della progettazione (2000) e della realizzazione (2005) dell'opera di contenimento arginale (sia profili longitudinali che sezioni trasversali);
- i dati dei rilievi topografici delle quote di fondo scavo effettivamente raggiunti al termine delle operazioni di scavo nelle aree golenali, prima del ricoprimento con nuovo riporto e della riprofilatura.

In particolare, sono stati esaminati il profilo geologico-tecnico che corre longitudinalmente lungo l'area Basso Piave e l'area Collinetta Ovest (Tavola 6 fuori testo) e le 6 sezioni trasversali più prossime agli scavi eseguiti dalla Commissione di Collaudo (Tavole 7a -7f).

Nel profilo di Tavola 6 sono riportate nel dettaglio la stratigrafia dei riporti un tempo presenti e delle marne ancora in posto, con la ricostruzione sia dei livelli di marna alterata od intensamente fratturata, sia dei livelli di marna integra (aree in arancione). Nel profilo sono state sovrimposte (linea verde) le quote di scavo rilevate, nei punti più prossimi alla traccia del profilo, al termine delle operazioni di bonifica.

Il confronto tra le quote del tetto della marna integra e le quote di scavo mostra che la quota della marna integra è sempre stata raggiunta². La stessa conclusione viene tratta se si osservano le 6 sezioni trasversali passanti per le celle oggetto degli scavi (Tavole 7a -7f).

Il profilo e le sezioni mettono inoltre in evidenza come il diaframma plastico dell'opera di contenimento arginale e il preesistente diaframma plastico golenale, si spingano per diversi metri (alcuni casi anche fino 8-10 m) al di sotto del tetto della marna litoide, intestandosi in livelli marnosi ove è stata verificata, con prove di permeabilità di tipo Leugeon, la totale impermeabilità.

Si segnala inoltre che la completa asportazione del terreno di riporto e degli orizzonti di alterazione della marna è stata verificata direttamente in occasione di diversi sopralluoghi effettuati dai tecnici URS in zona Collinetta Sud e area E (cfr. verbali di sopralluogo del 26 gennaio 2011, 15 aprile 2011 e 5 maggio 2011).

Dalle verifiche sopra richiamate è possibile confermare che:

- a) nelle aree in cui è stato eseguito il saggio di campionamento richiesto dalla Commissione di Collaudo è possibile escludere, ragionevolmente, la presenza di residui orizzonti di marna alterata;
- b) la metodologia di lavoro, nonché le macchine operatrici utilizzate, sono adeguate al pieno raggiungimento degli obiettivi di bonifica approvati, ovvero hanno permesso l'asportazione della totalità dei terreni e degli orizzonti di marna alterata fino al raggiungimento del substrato marnoso integro. Si segnala che, anche in occasione dei lavori per la realizzazione delle opere di contenimento del percolato e di protezione del sito dal rischio idraulico, il raggiungimento della quota della marna integra fu ottenuto adottando le stesse metodologie di lavoro e le stesse macchine operatrici. Al tal proposito Syndial evidenzia che, in quella circostanza, il necessario approfondimento dello scavo, condotto con macchine operatrici differenti, mostrò l'assenza di filtrazioni di acqua su entrambe le pareti laterali dello scavo.

² Si sottolinea che l'intersezione della quota di scavo con l'orizzonte di marna presso il sondaggio 12A, cella 17 è solo apparente, in quanto il sondaggio 12A non è in asse con in profilo, ma dislocato 21 m ad Ovest.

4. ATTIVITA' DI VERIFICA DELLA BONIFICA DELLE AREE GOLENALI

Il presente capitolo illustra i risultati delle attività di verifica della bonifica delle aree golenali "Basso Piave", "Pista di Collegamento" e "Collinetta Ovest", ubicate all'esterno del muro di cinta dello stabilimento.

Conformemente a quanto stabilito dal Protocollo condiviso tra Syndial e gli Enti, la constatazione dell'avvenuta bonifica di ciascuna cella di asportazione è avvenuta tramite attestazione congiunta tra Impresa (Saipem), Appaltante (Syndial) ed Enti (Provincia di Savona e ARPAL), della rimozione di tutti i terreni sovrastanti il substrato marnoso integro.

In aggiunta al riscontro in campo dell'effettivo raggiungimento dello strato di marna integro, al termine delle operazioni di bonifica delle aree golenali "Basso Piave", "Pista di Collegamento" e "Collinetta Ovest", Syndial ha predisposto, a partire dall'Aprile 2010, alcune attività di campionamento ed analisi, quali scavi esplorativi e sondaggi geognostici, con contestuali prelievi ed analisi di campioni di terreni, di acque affioranti a fondo scavo e di carote di terreno.

I risultati analitici sono stati confrontati con gli obiettivi di bonifica e valutati alla luce dei dati di caratterizzazione (che rappresentano le condizioni pre-bonifica).

Nel seguito vengono presentati e commentati i risultati delle attività di campionamento.

4.1. Verifiche delle attività di bonifica delle aree golenali

4.1.1. Modalità di verifica della bonifica

Le modalità di verifica della attività di bonifica sono definite in un Protocollo di Intesa, condiviso tra Syndial e gli Enti ("Protocollo tra il Commissario delegato, la Provincia di Savona, Arpa Liguria e Syndial, in attuazione del Protocollo di intesa per la reindustrializzazione del sito di Cengio siglato il 26/07/2006, per la definizione delle attività propedeutiche alla certificazione degli interventi di bonifica e bonifica con misure di sicurezza del sito di interesse nazionale di Cengio-Saliceto" del 25/10/2006, in particolare nell'Allegato B – Cap. 3.1 – di seguito indicato come "il Protocollo").

In particolare il protocollo stabilisce le modalità di campionamento ed analisi del fondo e delle pareti degli scavi per il confronto con gli obiettivi di bonifica (CLA del D.M. 471/99 per uso verde e residenziale), qualora non venga raggiunto il substrato marnoso integro.

La verifica della bonifica di ciascuna cella in area A3 e nelle aree pubbliche è avvenuta tramite attestazione congiunta della rimozione di tutti i terreni sovrastanti il substrato marnoso, della rimozione dell'orizzonte di marna alterata e del raggiungimento dello strato di marna integra tramite la redazione di verbali controfirmati dai responsabili di riferimento per la società appaltatrice (Saipem) la società appaltante (Syndial) e gli Enti di riferimento (Provincia di Savona e ARPAL).

Infatti, come specificato nella comunicazione del Commissario Delegato del 16/05/2007, relativa alla bonifica della Zona A4 Pian Rocchetta - in risposta al parere della Provincia del 10/05/2007 sulla problematica relativa ai fondi scavo delle celle in prossimità delle formazioni marnose ed arenacee – *“l’analisi del fondo scavo è ovviamente tecnicamente realizzabile solo nel caso in cui il fondo scavo stesso sia costituito da terreno o, nel caso limite, dal cappellaccio di alterazione e a tale caso è riferito quanto contenuto nel protocollo sottoscritto da Syndial, Ufficio del Commissario, Provincia di Savona ed Arpal”.*

4.1.2. Attività di campionamento

In aggiunta al riscontro in campo dell’effettiva rimozione di tutti i terreni sovrastanti il substrato marnoso e dell’effettivo raggiungimento dello strato di marna integra, al termine delle operazioni di riempimento e riprofilatura delle aree golenali “Basso Piave”, “Pista di Collegamento” e “Collinetta Ovest”, sono state effettuate alcune attività campionamento ed analisi, in particolare:

- 6 saggi con benna (1 in area Basso Piave e 5 in area collinetta Ovest, denominati da SC1 a SC6 – cfr. Tavola 5): gli scavi, eseguiti su indicazioni della Commissione di Collaudo, sono stati eseguiti in data 29 aprile 2010 e si sono spinti fino al rinvenimento del substrato marnoso. Per ogni singolo scavo sono stati prelevati 2 campioni di terreno, uno sulla parete ed uno presso il fondo scavo. Al termine delle operazioni di scavo sono stati anche prelevati campioni di acqua affiorante al fondo degli scavi da SC1 a SC5, mentre lo scavo SC6 è risultato asciutto. Le acque prelevate sono risultate ricche di sospensione solida, a causa del disturbo causato dalle operazioni di scavo. Un secondo campionamento delle acque a fondo scavo è stato effettuato l’11 maggio 2010: in tale occasione sono state campionate le acque affioranti al fondo degli scavi da SC2 a SC6. Sui campioni di acque e di terreni sono stati ricercati i composti previsti dal Protocollo;
- 53 carotaggi con prelievo ed analisi di campioni all’interno del nuovo materiale di riporto, spinti fino al contatto riporto / marna per la caratterizzazione dei volumi bonificati a fine lavori (16 nell’area “Basso Piave”, 22 nell’area “Pista di Collegamento”, 15 nell’area Collinetta Ovest). Tali attività sono state predisposte da Syndial in accordo con il Protocollo in essere. I lavori sono iniziati nel luglio 2010 e sono terminati nell’ottobre 2010; l’ubicazione dei sondaggi è riportata in Tavola 5. Da ciascun sondaggio, in accordo con il Protocollo condiviso, è stato prelevato un campione medio composito di ciascuna carota. A ulteriore garanzia dell’efficacia dell’intervento condotto, su 10 sondaggi le analisi sono state effettuate anche su campioni rappresentativi dell’ultimo metro di materiale di riporto, posto a diretto contatto con il substrato marnoso. Sui campioni prelevati sono stati ricercati i composti previsti dal Protocollo.

Syndial inoltre ha consegnato alla Commissione di Collaudo i risultati delle analisi eseguite su spezzoni di carota derivanti dalle perforazioni di tre coppie di sondaggi in area golenale, denominati PZBP1-2, PZCO1-2 e PZPDC1-2 alcuni dei quali (caratterizzati dal suffisso “1”) sono stati spinti all’interno dei primi metri del substrato marnoso (per la loro ubicazione si veda Tavola 5). I campioni sono stati prelevati sia nell’intervallo corrispondente al materiale di riporto, sia nell’intervallo di profondità comprendente l’interfaccia tra riporto e marna.

4.2. Risultati delle verifiche integrative

4.2.1. Risultati delle indagini sui terreni di riporto del luglio-ottobre 2010

I certificati delle analisi chimiche effettuate sui campioni prelevati dai 53 carotaggi effettuati all'interno del nuovo materiale di riporto sono riportati nel CD in Allegato 6.

Le concentrazioni rilevate evidenziano l'assenza di contaminazione a carico dei terreni di riporto: in tutti i campioni e per tutti composti analizzati, compresi anche i campioni prelevati nell'ultimo metro di riporto a contatto con il substrato marnoso, le concentrazioni sono, infatti, inferiori ai limiti stabiliti dal D.M. 471/99 per la destinazione d'uso verde e residenziale.

4.2.2. Risultati dei campionamenti sui terreni di riporto provenienti dagli scavi con benna

I risultati delle analisi chimiche effettuate sui campioni prelevati sia sul fondo sia sulle pareti dei 6 scavi con benna sono riportati nella Tabella 1 in Allegato 5.

Viene fatto osservare che la metodologia di scavo e di campionamento con benna è difforme sia da quanto previsto dai protocolli adottati in sito durante la bonifica, sia dalle consuete metodiche di campionamento in ambito di caratterizzazione ambientale (data la difficoltà di separare le matrici ambientali ai fini delle analisi chimiche). Nonostante i suddetti fattori, potenzialmente inficianti sulla significatività del dato analitico ottenuto, i risultati delle analisi effettuate sui campioni di terreno prelevati sulle pareti e sul fondo degli scavi sono stati confrontati con gli obiettivi di bonifica (CLA del D.M. 471/99 per la destinazione d'uso verde e residenziale).

Nella maggior parte dei campioni le concentrazioni sono risultate inferiori alle CLA; unicamente nei campioni relativi agli scavi SC2 e SC6 è stata rilevata la presenza di composti naftalensolfonici e cloroaniline con concentrazioni non molto superiori ai limiti residenziali, ma sempre inferiori a quelli industriali.

La tipologia dei composti rilevati in eccedenza negli scavi SC2 e SC6 è stata confrontata con la tipologia di composti presenti prima della bonifica (caratterizzazione del 2001) nei sondaggi distanti non più di 20 metri dagli scavi (Tavola 5): tale confronto evidenzia un'analogia tra i composti rilevati (prevalgono i naftalensolfonici e le cloroaniline, mentre i nitrobenzeni sono pressoché assenti), nonostante l'entità dei superamenti sia radicalmente diversa.

La concentrazioni prima della bonifica, infatti, erano superiori (anche di 10 volte o più) dei limiti del D.M. 471/99 per uso industriale, mentre nel caso dei campioni prelevati dai saggi di scavo le concentrazioni rilevate nei due saggi SC2 e SC6 eccedono i soli limiti residenziali, senza mai superare i limiti per l'uso industriale. Si sottolinea nuovamente che, data la difficoltà di separare le diverse matrici ambientali mediante la tecnica dello scavo con benna, i risultati ottenuti dai campioni così prelevati possono non essere rappresentativi della reale qualità dei terreni di riporto.

4.2.3. Risultati dei campionamenti delle acque di fondo scavo

I risultati analitici dei campioni di acque prelevati il 29 aprile 2010 e l'11 maggio 2010 dal fondo degli scavi sono riportati nelle tabelle 2 e 3 in Allegato 5; nei campioni di entrambe le campagne sono stati riscontrati superamenti dei limiti stabiliti dal D.M. 471/99 per i composti della famiglia dei naftalensolfonici (su tutti i campioni) con presenza secondaria di nitrobenzeni e cloro aniline (solo sui campioni prelevati nello scavo SC4 e SC5), come riportato nelle tabelle in Allegato 5.

Gli altri composti analizzati sono risultati o non rilevabili o con concentrazioni inferiori ai limiti stabiliti.

4.2.4. Risultati dei campioni di terreno prelevati dai sondaggi spinti all'interno del substrato marnoso.

I risultati delle analisi eseguite su spezzoni di carota derivanti dalle perforazioni delle tre coppie di sondaggi in area golenale, denominati PZBP1-2, PZCO1-2 e PZPDC1-2, di cui quelli caratterizzati dal suffisso "1" sono stati spinti all'interno dei primi metri del substrato marnoso, sono riportati nella tabella 4 in Allegato 5.

I risultati delle analisi sono stati confrontati con gli obiettivi di bonifica per le aree golenali (CLA D.M. 471/99 uso verde e residenziale). Le concentrazioni rilevate evidenziano assenza di contaminazione: in tutti i campioni e per tutti composti analizzati, le concentrazioni sono infatti inferiori ai limiti stabiliti dal D.M. 471/99 per la destinazione d'uso verde e residenziale.

Fa eccezione il campione prelevato sulla verticale PZCO1, ad una profondità compresa tra 6,8 e 7,8 m da p.c.; i superamenti riguardano le famiglie di composti naftalensolfonici, nitrobenzenici e le cloroaniline. Tale risultato non è da ascrivere alla qualità dell'ammasso marnoso, bensì all'orizzonte di interfaccia riporto – marna. Le metodiche analitiche dei terreni, infatti, sono inapplicabili alla marna, quale quella attraversata dal sondaggio PZCO1 al di sotto dei 7 m di profondità del piano campagna.

Si segnala inoltre che il piezometro PZCO1 è stato realizzato a circa 1,5 m di distanza dal nuovo muro di contenimento arginale, presso le opere di fondazione dello stesso. E' plausibile che le attività di intestazione delle fondazioni in calcestruzzo del muro abbiano localmente interessato il tetto della marna, alterandolo e compromettendone localmente le caratteristiche.

CONCLUSIONI

Syndial è impegnata da tempo nella realizzazione di un ampio e articolato piano complessivo di bonifica dell'ex sito industriale di Cengio delineato per le linee generali nell'Accordo di Programma sottoscritto dall'Azienda insieme con tutti gli enti locali e ministeriali interessati e con il Commissario Delegato nel dicembre del 2000.

Ciascuna delle attività previste dal piano è stata definita nel dettaglio all'interno di progetti approvati in sede di Conferenze di Servizi, presiedute dal Ministero dell'Ambiente ovvero dal Commissario Delegato, che hanno visto la fattiva partecipazione e l'autorevole contributo, fra gli altri, degli organi tecnici competenti di ciascuna amministrazione.

L'esecuzione delle opere è stata affidata da Syndial a primarie Società del settore che hanno operato nell'assoluto rispetto della regola dell'arte sotto la continua e costante supervisione sia di Syndial, sia dei tecnici dell'ufficio Commissariale e degli Enti territoriali di controllo preposti, senza che siano mai emerse contestazioni sulle tecniche e/o sulle modalità di esecuzione.

In particolare, per quanto concerne la bonifica delle aree golenali, il pieno conseguimento degli obiettivi di bonifica è stato confermato dai 53 carotaggi con prelievo ed analisi di campioni all'interno del nuovo materiale di riporto, in accordo con il Protocollo in essere. Sui campioni prelevati sono stati ricercati i composti previsti dal Protocollo. Le concentrazioni rilevate hanno evidenziato l'assenza di contaminazione a carico dei terreni di riporto: in tutti i campioni e per tutti i composti analizzati, le concentrazioni sono, infatti, inferiori ai limiti stabiliti dal D.M. 471/99 per la destinazione d'uso verde e residenziale mostrando, per buona parte dei campioni, concentrazioni al di sotto del limite di rilevanza analitica.

Invero, il completo risanamento delle componenti ambientali del sito, è stato autorevolmente confermato dallo studio ICRAM³, che prende in considerazione non solo la qualità del fiume, ma anche la fauna e la flora dell'ambiente fluviale. Anche il Piano di Tutela delle Acque, redatto dalla Regione Piemonte nel Marzo 2007 riporta che tutto il ramo del Bormida di Millesimo ha raggiunto uno stato ambientale (ai sensi dell'allora vigente D.Lgs. 152/1999) "buono", anticipando nei tempi i requisiti della normativa vigente, che prevede il raggiungimento di un livello "buono" come uno degli obiettivi di qualità dei corpi idrici da conseguirsi entro il 2015.

Infine, anche le analisi condotte nel corso del 2010 sulle acque del fiume Bormida, prelevate immediatamente a valle del sito di Cengio, evidenziando la totale assenza nelle acque del fiume di composti ascrivibili al sito, confermano l'azione risanatrice delle attività di bonifica e di messa in sicurezza poste in atto dall'Azienda.

La realizzazione degli interventi di messa in sicurezza permanente e di bonifica non ha comportato alcun effetto negativo sui principali componenti e fattori ambientali (flora, fauna, suolo, acqua, aria e clima), ma ha annullato quelli pregressi e consolidato il completo risanamento delle componenti ambientali del sito. Tutti gli elementi di conoscenza disponibili allo stato attuale consentono, ragionevolmente, di concludere

³ Commissario Delegato per lo stato di Emergenza nel territorio di Cengio e Saliceto in ordine alla situazione di crisi socio-ambientale (ord. N° 3455 del 05/08/2005). " *Piano di caratterizzazione ambientale dell'asta del Fiume Bormida compresa tra l'area di Cengio-Saliceto e Bistagno - Relazione Tecnica Conclusiva*", ICRAM. Novembre 2006.

confermando il pieno conseguimento degli obiettivi affidati a ciascuno dei progetti di bonifica realizzati dall'Azienda e, complessivamente, all'intero piano di bonifica approvato.

In tale contesto, anche gli esiti degli studi di approfondimento effettuati nell'ambito del presente lavoro consentono di confermare rispettivamente:

- che l'isolamento fisico delle aree interne dell'ex sito industriale è sostenuto dalla presenza alla base di un substrato marnoso a permeabilità nulla o bassissima, spesso più di 150 m. e dalla presenza, ai lati, di opere di confinamento fisico intestate per diversi metri nel substrato marnoso (fino a 8 – 10 m), corredate da un diaframma drenante sul lato a monte dell'opera per la raccolta ed il controllo dei livelli della falda interna del sito, le cui caratteristiche progettuali e realizzative sono tali da escludere la migrazione della contaminazione presente all'interno verso le aree esterne;
- che, in base alle caratteristiche geotecniche e geomeccaniche dei materiali interessati dalle operazioni di scavo e scarifica, le modalità tecniche con cui sono state condotte le operazioni di bonifica delle aree golenali appaiono idonee al fine di garantire gli obiettivi di bonifica previsti dal Progetto approvato. Come accertato nel corso dei diversi sopralluoghi effettuati in occasione di scavi in trincea (per la posa del metanodotto, per la realizzazione del cassonetto di imposta della berma di protezione spondale) non sono state osservate, lungo tutto lo sviluppo dello scavo e su entrambe le pareti laterali dello stesso, filtrazioni di acqua al di sotto della superficie della marna integra messa a giorno dalle attività di bonifica;
- la piena compatibilità tra i composti rilevati sui campioni di cui trattasi e quelli ipotizzabili sulla base della pregressa contaminazione del sito. Mentre si richiama la circostanza che i risultati ottenuti da alcuni campioni prelevati possono non essere rappresentativi della reale qualità dei terreni di riporto, la presenza in essi di concentrazioni residue eccedenti gli obiettivi di bonifica può essere ricondotta al fatto che localmente, al tetto della marna integra, non si può escludere la presenza di aree maggiormente depresse contestualmente alla presenza di contaminazione superficiale residua giustificata dal contatto prolungato con gli strati immediatamente superiori di terreni contaminati e di marna alterata ormai rimossi. Il ristagno in dette depressioni di acque di filtrazione può occasionalmente provenire anche da aree idrogeologiche limitrofe non ancora bonificate. Nel contesto dell'estensione dell'intera area bonificata e della complessità delle stesse attività di bonifica si ritiene che tali condizioni non abbiano rilevanza ambientale, in quanto locali e confinate. Una situazione analoga si era riscontrata in occasione della conclusione della bonifica del sito di Pian Rocchetta: in quel caso, all'evidenza del raggiungimento dello strato marnoso integro ed in relazione alle sue caratteristiche apparenti, sia la Provincia di Savona – Settore Tutela Ambientale – che il Commissario Delegato convenivano sull'assenza di elementi tali da suggerire ulteriori interventi di bonifica delle aree in questione.

TAVOLE FUORI TESTO

ALLEGATO 1

Database dei documenti di riferimento

ALLEGATO 2

Contenuti e conclusioni di ciascun documento acquisito

ALLEGATO 3

Database delle prove di permeabilità ed elaborazioni effettuate

ALLEGATO 4

Documentazione fotografica dei sopralluoghi in Area A3

Allegato 5

Risultati analitici dei campionamenti effettuati in area A3

ALLEGATO 6

**Certificati analitici dei campioni prelevati dai 53 sondaggi in Area A3
(CD)**

ALLEGATO 7

**Relazione Saipem “Metodologia di asportazione del cappellaccio di
alterazione del substrato marnoso” agosto 2011**

ALLEGATO 8:

Verbale di sopralluogo del 11-10-2010 redatto dal Dott. Longo