

 MINISTRY FOR ENERGY AND WATER MANAGEMENT WSC, QORMI ROAD, LUQA, MALTA	 	CONTRACT N. CT 3108/2018	JOB 171001
	LOCATION MALTA & ITALY	DOC. 30-RT-E-6034	
	PROJECT MELITA TRANSGAS PIPELINE	Sheet 1 of 18	Rev. 5

MELITA TRANSGAS PIPELINE

PROJECT OF COMMON INTEREST PCI 5.19



Co-financed by the European Union
 Connecting Europe Facility

Geohazard e valutazioni sismiche (Studio sull'evoluzione costiera e sul trasporto di sedimenti presso l'approdo di Gela)

5	AFD – Approvato per il Progetto Definitivo	M. De Caro	P. Giuliani	S. Belogi	04/05/2020
4	IFA – Emissione per Approvazione	M. De Caro	P. Giuliani	S. Belogi	10/01/2020
3	IFA – Emissione per Approvazione	M. De Caro	P. Giuliani	S. Belogi	29/11/2019
2	IFC – Emissione per Commenti	M. De Caro	P. Giuliani	S. Belogi	02/10/2019
1	IFC – Emissione per Commenti	M. De Caro	P. Giuliani	S. Belogi	23/08/2019
0	IDC – Controllo Interno	M. De Caro	P. Giuliani	S. Belogi	05/08/2019
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

 MINISTRY FOR ENERGY AND WATER MANAGEMENT WSC, QORMI ROAD, LUQA, MALTA	 	CONTRACT N. CT 3108/2018	JOB 171001
	LOCATION MALTA & ITALY	DOC. 30-RT-E-6034	
	PROJECT MELITA TRANSGAS PIPELINE	Sheet 2 of 18	Rev. 5

Sommario

1	INTRODUZIONE	3
1.1	Scopo del Documento	4
2	ABBREVIAZIONI	5
3	RIFERIMENTI	6
3.1	Normative e Standards	6
3.2	Documenti dalla Letteratura Scientifica	6
3.3	Documenti di Progetto	6
4	RIASSUNTO, CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	7
4.1	Riassunto	7
4.2	Conclusioni	7
4.3	Raccomandazioni	7
5	DATI DI INPUT	8
5.1	Introduzione	8
5.2	Dati delle Onde	8
5.3	Dati della Corrente	10
5.4	Condizioni del suolo	10
5.5	Posizione della Trincea	10
5.6	Dimensioni e Geometria della Trincea	11
6	METODOLOGIA	13
6.1	Trasporto del carico letto	13
6.2	Trasporto di carichi sospesi	14
6.3	Riempimento per Gravità del Carico Letto	15
6.4	Sezioni della Trincea	15
7	RISULTATI	17
7.1	Caso Base	17

 MINISTRY FOR ENERGY AND WATER MANAGEMENT WSC, QORMI ROAD, LUQA, MALTA	 	CONTRACT N. CT 3108/2018	JOB 171001
	LOCATION MALTA & ITALY	DOC. 30-RT-E-6034	
	PROJECT MELITA TRANSGAS PIPELINE	Sheet 3 of 18	Rev. 5

1 INTRODUZIONE

L'opera in progetto denominata "Melita Transgas Pipeline, DN 550 (22") prevede la realizzazione di un gasdotto che collegherà l'isola di Malta con l'Italia. Il nuovo gasdotto è stato voluto dal Governo Maltese, la cui politica ha lo scopo di ridurre il costo di produzione dell'energia elettrica e di minimizzare l'impatto ambientale determinato dalla generazione di energia passando dai combustibili fossili liquidi al gas. Per raggiungere questi obiettivi, la politica del governo è quella di promuovere investimenti indipendenti nelle infrastrutture energetiche di Malta sotto forma di nuove strutture, favorendo l'importazione di gas naturale e di nuovi impianti di generazione ad alta efficienza dalla centrale elettrica di Delimara. Gli studi condotti nelle fasi precedenti hanno chiaramente concluso che la soluzione più opportuna in termini di fattibilità, nelle condizioni di mercato attuali, è quella di collegare Malta alla Rete Europea del Gas mediante un gasdotto. L'opzione che collega Malta a Gela è risultata preferibile in quanto la rete nazionale dei gasdotti italiani è già ubicata nei pressi del litorale risultando quindi più facilmente raggiungibile (vedi Figura 1).

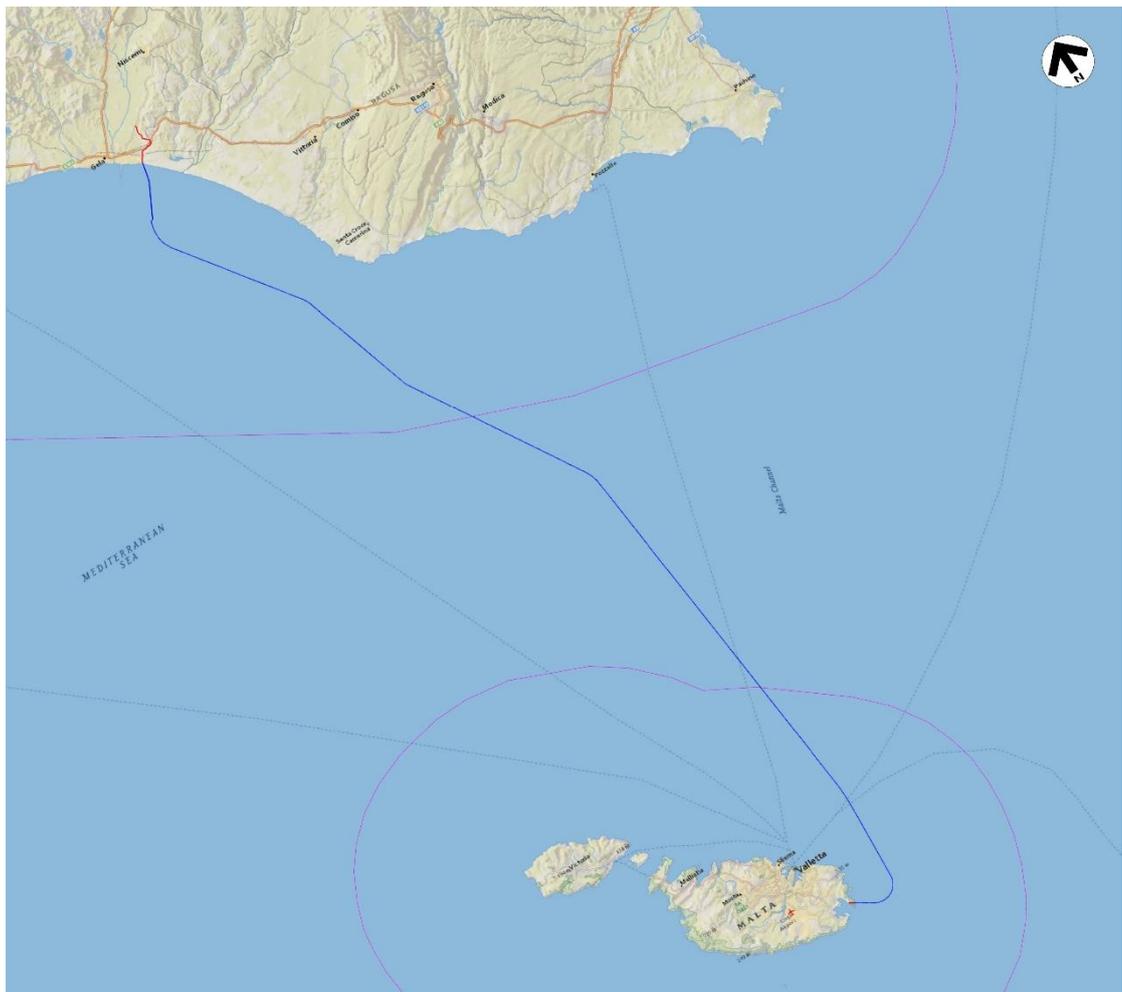


Figura 1 – Mappa Generale del Tracciato del Metanodotto

L'attuale fase del progetto riguarda lo studio di progettazione definitiva (FEED).

 MINISTRY FOR ENERGY AND WATER MANAGEMENT WSC, QORMI ROAD, LUQA, MALTA	 	CONTRACT N. CT 3108/2018	JOB 171001
	LOCATION MALTA & ITALY	DOC. 30-RT-E-6034	
	PROJECT MELITA TRANSGAS PIPELINE	Sheet 4 of 18	Rev. 5

1.1 Scopo del Documento

Lo scopo di questo documento è quello di studiare il trasporto di sedimenti nell'approdo a Gela.

Le analisi si basano sulla stima dei potenziali tassi di trasporto dei sedimenti, tenendo conto delle condizioni meteo-oceaniche tipiche e delle caratteristiche del suolo del sito.

Lo studio fornisce una stima dei tassi di riempimento della trincea che possono verificarsi durante il periodo di costruzione, date le caratteristiche di progettazione della trincea e le condizioni meteo-oceaniche annuali.

La trincea è collocata all'uscita dell'HDD all'approdo di Gela al KP 8.362, che è circa 1.2km dalla linea di costa e ad 8.24m di WD.

 MINISTRY FOR ENERGY AND WATER MANAGEMENT WSC, QORMI ROAD, LUQA, MALTA	 	CONTRACT N. CT 3108/2018	JOB 171001
	LOCATION MALTA & ITALY	DOC. 30-RT-E-6034	
	PROJECT MELITA TRANSGAS PIPELINE	Sheet 5 of 18	Rev. 5

2 ABBREVIAZIONI

DPSt	Stazione di Potenza a Delimara
DNVGL	Det Norske Veritas and Germanischer Lloyd
EPC	Ingegneria, fornitura e costruzione
FEED	Progettazione Ingegneristica Front-End (Front End Engineering Design)
HDD	Trivellazione orizzontale controllata (TOC) (Horizontal Directional Drilling)
Hs	Altezza Significativa dell'onda
KP	Progressiva chilometrica
PMRS	Survey Preliminare della Rotta Marina
WD	Profondità dell'acqua

 MINISTRY FOR ENERGY AND WATER MANAGEMENT WSC, QORMI ROAD, LUQA, MALTA	 	CONTRACT N. CT 3108/2018	JOB 171001
	LOCATION MALTA & ITALY	DOC. 30-RT-E-6034	
	PROJECT MELITA TRANSGAS PIPELINE	Sheet 6 of 18	Rev. 5

3 RIFERIMENTI

3.1 Normative e Standards

Sono stati considerati i seguenti codici e standard principali:

[1] DNVGL-ST-F101 Submarine Pipeline System.

3.2 Documenti dalla Letteratura Scientifica

- [2] Bijker E.W. "Longshore transport computations", Journal of Waterways, Harbours and Coastal Eng., vol. 99, ww4,1971
- [3] Bijker E.W. "Sedimentation in channels and trenches", Coastal Engineering Conference, Sydney, Australia, 1980
- [4] Fredsøe J. "Sedimentation of river navigation channels" Journal of Hydraulics Division, vol. 104, NO. HY2, 1978
- [5] Van Rijn L. "Handbook sediment transport by current and waves", Delft Hydraulics Laboratory Report No. H461, 1990
- [6] Prediction of sand transport rates by waves and currents in the coastal zone, A.G. Davies, C.Villaret
- [7] Mechanics of sediment transport by the combination of waves and current, ECO W. Bijker

3.3 Documenti di Progetto

- [8] MEW001_Pho-GELA-MALTA-Metocean-Rev00
- [9] MEW001_GEOTECH_FINAL_REPORT_REV03
- [10] 30-RT-E-6000 Offshore Preliminary Pipeline Route Report
- [11] 10-RT-E-0131 Identification of Construction Operation and Maintenance Methodology
- [12] 30-RT-E-6903 Italy Landfall Selection and Design Report

 MINISTRY FOR ENERGY AND WATER MANAGEMENT WSC, QORMI ROAD, LUQA, MALTA	 	CONTRACT N. CT 3108/2018	JOB 171001
	LOCATION MALTA & ITALY	DOC. 30-RT-E-6034	
	PROJECT MELITA TRANSGAS PIPELINE	Sheet 7 of 18	Rev. 5

4 RIASSUNTO, CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

4.1 Riassunto

A Gela, nel progetto è previsto il metodo di trivellazione orizzontale controllata per l'approdo a terra. È necessario effettuare una trincea nel punto di uscita dell'HDD per creare una transizione graduale tra il fondo marino e il percorso di perforazione all'interno dell'HDD; la trincea deve essere effettuata prima della mobilitazione del martinetto e dell'allestimento dell'impianto di perforazione.

Lo studio fornisce una stima sulle quote di riempimento della trincea che possono verificarsi durante il periodo di costruzione (date le caratteristiche di progettazione della trincea, le proprietà del suolo e le condizioni annuali meteo-oceaniche), per identificare gli interventi necessari per mantenere la forma del fondo della trincea durante le operazioni di HDD.

4.2 Conclusioni

Il volume dei sedimenti trasportati nella trincea è calcolato sulla base dei dati geotecnici forniti nel Rif.[9]. Per quanto riguarda i dati del suolo, i valori di D_{50} e D_{90} sono considerati in 3 diverse fasi temporali:

- Volume dei sedimenti nella trincea dopo 10 giorni con $D_{50} = 0.09 \cdot 10^{-3}$ m, $D_{90} = 0.19 \cdot 10^{-3}$ m;
- Volume dei sedimenti nella trincea dopo 20 giorni con $D_{50} = 0.09 \cdot 10^{-3}$ m, $D_{90} = 0.19 \cdot 10^{-3}$ m;
- Volume dei sedimenti nella trincea dopo 30 giorni con $D_{50} = 0.09 \cdot 10^{-3}$ m, $D_{90} = 0.19 \cdot 10^{-3}$ m.

I rispettivi risultati sono riassunti di seguito e illustrati nella sezione 0:

- La quota di trasporto nella trincea è di circa 507 m^3 in 10 giorni;
- La quota di trasporto nella trincea è di circa 1094 m^3 in 20 giorni;
- La quota di trasporto nella trincea è di circa 1582 m^3 in 30 giorni.

Poiché il volume totale della trincea è di circa 2500 m^3 , potrebbe essere necessaria una manutenzione della trincea.

Sulla base delle informazioni geotecniche fornite e della mancanza di dati dettagliati sulle onde stagionali/mensili, lo scenario più affidabile e conservativo è il caso peggiore di 1582 m^3 che richiede la manutenzione della trincea.

4.3 Raccomandazioni

I risultati si basano sui dati annuali meteo-oceanici, poiché non sono stati ricevuti dati dettagliati sulle onde stagionali/mensili e sulla direzionalità della corrente. Si raccomanda, durante la progettazione di dettaglio, di aggiornare i risultati per trovare la migliore finestra temporale operativa. In questa fase del progetto, si raccomanda di considerare il caso peggiore come caso base, per consentire all'EPC contractor di prevedere le attrezzature necessarie per completare il lavoro senza ritardi.

 MINISTRY FOR ENERGY AND WATER MANAGEMENT WSC, QORMI ROAD, LUQA, MALTA	 	CONTRACT N. CT 3108/2018	JOB 171001
	LOCATION MALTA & ITALY	DOC. 30-RT-E-6034	
	PROJECT MELITA TRANSGAS PIPELINE	Sheet 8 of 18	Rev. 5

5 DATI DI INPUT

5.1 Introduzione

I dati disponibili utilizzati per questo studio sono tratti dal Metocean Study Report Rif.[8] (simulato con SWAN applicato a 20 anni di dati) ed include il clima tipico delle onde (in particolare la distribuzione di frequenza delle onde significative rispetto al periodo di picco e alle direzioni) e i dati sulle velocità di corrente sul fondo del Punto 01 sono mostrati in Figura 2:

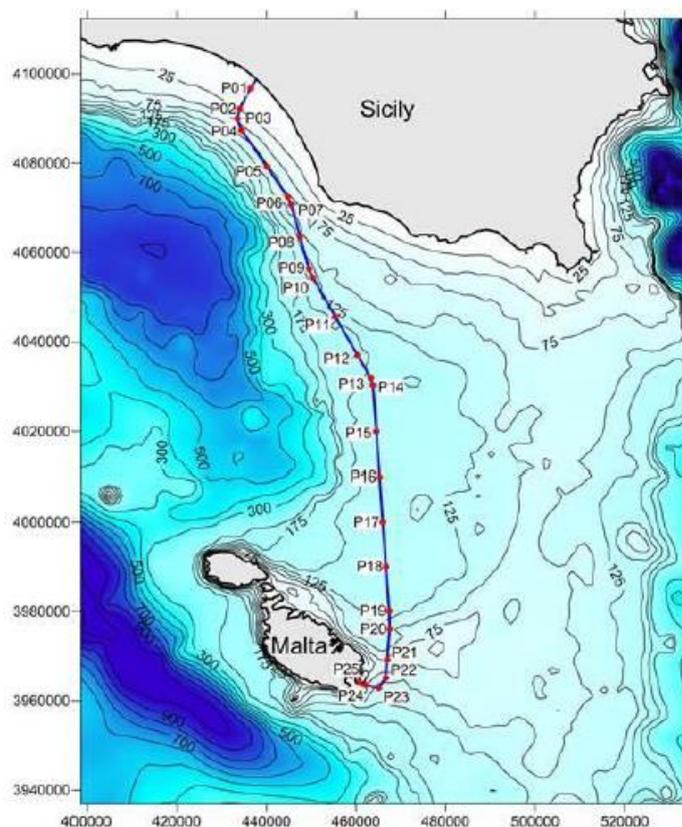


Figura 2 – Punti selezionati lungo il tracciato del metanodotto dove sono state valutate le onde e le correnti

5.2 Dati delle Onde

I dati delle onde sono stati ricavati dal Metocean Study Report Rif.[8].

I dati rilevanti per questo studio sono riferiti al PUNTO 01, situato a 11,1m di profondità all'approdo di Gela.

La tabella della distribuzione di frequenza delle onde significative rispetto alla direzione di entrata e rispetto al periodo di picco è riportata nella Tabella 1 e nella Tabella 2.



MINISTRY FOR ENERGY
AND WATER MANAGEMENT
WSC, QORMI ROAD, LUQA, MALTA

techfem **sps**

CONTRACT N.
CT 3108/2018

JOB
171001

LOCATION
MALTA & ITALY

DOC. 30-RT-E-6034

PROJECT
MELITA TRANSGAS PIPELINE

Sheet 9 of 18

Rev.
5

Dir (°N)	Hs (m) - Annual																			TOT.
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	>9,0	
0	0,37	0,07																		0,44
30	0,58	0,09																		0,67
60	0,51	0,07																		0,58
90	0,68	0,23	0,02																	0,93
120	1,25	0,99	0,06	0,01																2,31
150	2,61	3,42	0,86	0,17	0,02															7,08
180	6,44	5,75	1,84	0,50	0,16	0,01														14,72
210	9,87	5,30	1,69	0,55	0,16	0,07	0,03													17,67
240	11,89	8,46	3,42	1,91	1,14	0,50	0,17													27,49
270	6,44	11,64	6,13	1,91	0,28	0,03														26,41
300	0,63	0,47	0,11																	1,21
330	0,32	0,15	0,01																	0,48
TOT.	41,60	36,65	14,15	5,05	1,75	0,61	0,19													100,00

Tabella 1 – Distribuzione di frequenza delle onde significative rispetto alla direzione di arrivo al Punto 01 lungo il tracciato preliminare del metanodotto (Rif.[8]).

Tp (s)	Hs (m) - Annual																			TOT.
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	>9,0	
1																				
2	2,68																			2,68
3	17,03	1,09																		18,12
4	6,63	9,81	0,15	*																16,59
5	9,43	6,26	3,93	0,13																19,76
6	3,70	8,09	2,34	1,22	0,05															15,40
7	1,33	7,39	3,53	1,16	0,25	0,02														13,68
8	0,40	2,32	2,57	1,09	0,51	0,10	0,02													6,99
9	0,21	0,84	1,05	0,90	0,57	0,20	0,04													3,80
10	0,09	0,46	0,31	0,42	0,25	0,17	0,07													1,76
11	0,07	0,26	0,18	0,12	0,10	0,08	0,05													0,86
12	0,02	0,11	0,07	0,02	0,03	0,04	0,02													0,31
13	0,01	0,02	0,02		*															0,04
14	*	*	0,01																	0,01
15																				
16																				
>16,0																				
TOT.	41,60	36,64	14,15	5,06	1,75	0,61	0,19													100,00

* Value lower than 0.01 %

Tabella 2 – Distribuzione di frequenza delle onde significative rispetto al periodo di picco al Punto 01 lungo il tracciato preliminare del metanodotto (Rif.[8]).

 MINISTRY FOR ENERGY AND WATER MANAGEMENT WSC, QORMI ROAD, LUQA, MALTA	 	CONTRACT N. CT 3108/2018	JOB 171001
	LOCATION MALTA & ITALY	DOC. 30-RT-E-6034	
	PROJECT MELITA TRANSGAS PIPELINE	Sheet 10 of 18	Rev. 5

5.3 Dati della Corrente

I dati della corrente sono stati ricavati dal Metocean Study Report (Rif.[8]).

I valori estremi di corrente valutati, sono misurati ad 1m dal fondo, nel Punto 01 e sono riportati in Tabella 3.

POINT	DEPTH (m)	RETURN PERIOD (years)				
		1	5	10	50	100
1	11.1	0.56	0.61	0.65	0.72	0.74

Tabella 3 – Velocità estreme di corrente vicino al fondo (m/s) nel Punto 01 lungo il tracciato preliminare del metanodotto (Rif.[8]).

Tuttavia, il diagramma di dispersione per i valori del campo di velocità delle correnti rispetto alle direzioni non è fornito dal Metocean Study Report (Rif.[8]). Per lo scopo del presente rapporto, la distribuzione annuale delle correnti in termini di velocità e direzione si ottiene come segue:

- La direzione della corrente è assunta con un approccio conservativo costante e parallela all'allineamento della linea di costa/batimetria (120°N).
- La distribuzione della velocità di corrente si ottiene dalla distribuzione di Weibull calcolata fissando i valori di 1 e 100 anni della Tabella 3 e assumendo valori orari. I parametri di Weibull calcolati sono: parametro di scala=0.1252 m/s e parametro di forma=1.4721. La frequenza degli eventi di corrente in ogni classe di velocità, spaziata ad intervalli di 0.05 m/s, è stata calcolata da questi parametri di Weibull, vedere Tabella 4.

Current speed (m/s)	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65
Frequency of events (%)	22.83	28.44	21.63	13.49	7.34	3.60	1.61	0.67	0.26	0.09	0.03	0.01	0.00

Tabella 4 – Distribuzione delle velocità di corrente nel Punto 01 (la velocità è il limite superiore della classe).

5.4 Condizioni del suolo

Nell'analisi sono stati utilizzati i seguenti dati geotecnici (Rif.[9]) aggiornati:

- $D_{50}=0.09\text{mm}$;
- $D_{90}=0.19\text{ mm}$;
- 17.8%. di argilla.

5.5 Posizione della Trincea

La trincea si trova all'uscita HDD sull'approdo di Gela, al KP 8.362, che dista circa 1,5 km dalla linea di costa e 8,24 m di WD (vedere Rif.[9]).

 MINISTRY FOR ENERGY AND WATER MANAGEMENT WSC, QORMI ROAD, LUQA, MALTA	 	CONTRACT N. CT 3108/2018	JOB 171001
	LOCATION MALTA & ITALY	DOC. 30-RT-E-6034	
	PROJECT MELITA TRANSGAS PIPELINE	Sheet 11 of 18	Rev. 5

5.6 Dimensioni e Geometria della Trincea

L'impianto di perforazione è installato su una piattaforma di sollevamento per praticare il foro pilota dal mare aperto verso la terraferma.

Il martinetto deve essere posizionato lungo l'allineamento della trivella, a circa 150 m dal punto di entrata.

Il profilo longitudinale di scavo illustrato nella Figura 3 è indicativo e deve essere confermato durante la progettazione di dettaglio.

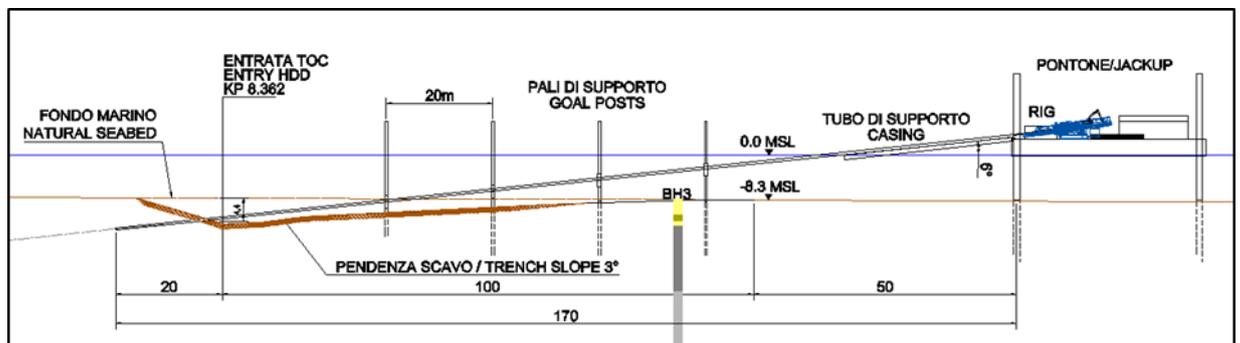


Figura 3 – Sezione longitudinale dello scavo

La pendenza della trincea deve essere scavata prima della mobilitazione del martinetto e dell'allestimento dell'impianto.

Le dimensioni preliminari dello scavo offshore sono (Rif.[12]):

- Larghezza de fondo 3 m;
- Pendenza laterale dello scavo a seconda delle caratteristiche del suolo (assumendo 1:3);
- Lunghezza longitudinale 100m;
- Raggio di curvatura 800m;
- Profondità variabile da 4.4m al fondo naturale del mare;
- Materiale di scavo 2500 m³.

 MINISTRY FOR ENERGY AND WATER MANAGEMENT WSC, QORMI ROAD, LUQA, MALTA	 	CONTRACT N. CT 3108/2018	JOB 171001
	LOCATION MALTA & ITALY	DOC. 30-RT-E-6034	
	PROJECT MELITA TRANSGAS PIPELINE	Sheet 12 of 18	Rev. 5

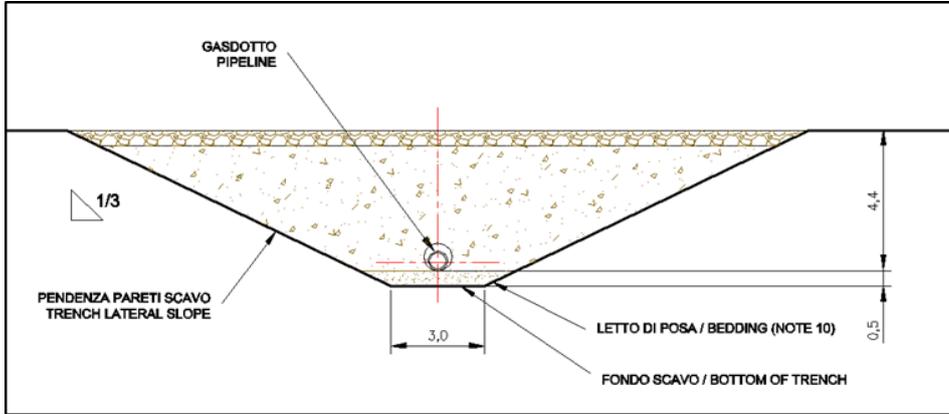


Figura 4 – Sezione trasversale dello scavo

La Figura 5 mostra la vista planimetrica del pre-scavo all'uscita dell'HDD.

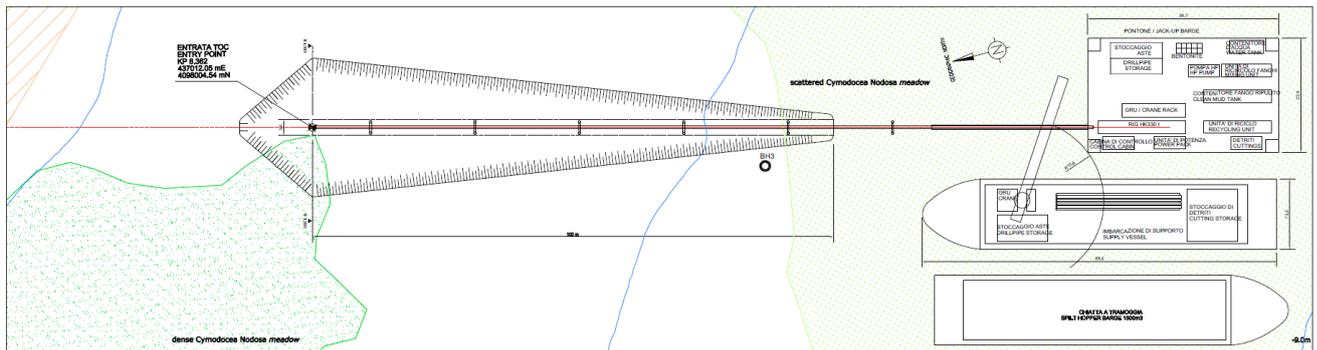


Figura 5 – Vista dall'alto del Pre-scavo

 MINISTRY FOR ENERGY AND WATER MANAGEMENT WSC, QORMI ROAD, LUQA, MALTA		CONTRACT N. CT 3108/2018	JOB 171001
	LOCATION MALTA & ITALY	DOC. 30-RT-E-6034	
	PROJECT MELITA TRANSGAS PIPELINE	Sheet 13 of 18	Rev. 5

6 METODOLOGIA

6.1 Trasporto di sedimenti sul letto della trincea

Il codice, sviluppato internamente, è basato su un modello matematico che stima il riempimento naturale della trincea.

Il calcolo del trasporto dei sedimenti dovuto alla corrente e alle onde è calcolato con la formula di Bijker (Rif.[7]).

Il modello Bijker si basa sui classici concetti di trasporto dei sedimenti per il trasporto di carico sul fondo della trincea e il trasporto del carico sospeso.

Il trasporto di sedimento sul letto della trincea q_{sb} è espresso come:

$$q_{sb} = C_b D \sqrt{\frac{\mu_c \tau_c}{\rho}} \exp\left(-0.27 \frac{(\rho_s - \rho) g D}{\mu_c \tau_{cw}}\right)$$

dove:

D diametro medio della granulometria;

C_b coefficiente di frangimento dell'onda, di solito pari a 5;

μ_c fattore di forma del letto della trincea $\mu_c = \left(\frac{C}{C'}\right)^{\frac{3}{2}}$;

C coefficiente di Chezy $C = 18 \log\left(\frac{12h}{r}\right)$

h profondità dell'acqua;

r rugosità del fondo;

C' coefficiente di Chezy basato sulle proprietà de materiale del letto della

trincea $C' = 18 \log\left(\frac{12h}{D_{90}}\right)$;

D_{90} diametro della granulometria tale che il 90% (in peso) del terreno ha un diametro inferiore;

τ_c stress da taglio del letto della trincea correlato alla corrente $\tau_c = \rho g \left(\frac{U}{C}\right)^2$;

ρ densità dell'acqua;

ρ_s densità delle particelle di sedimento;

g accelerazione di gravità;

U velocità di corrente;

τ_{cw} stress da taglio dovuto all'interazione onda-corrente

$$\tau_{cw} = \left[1 + 0.5 \left(\xi_B \frac{U_w}{U_c}\right)^2\right] \tau_{cf} ;$$

U_w velocità orbitale dell'onda sul fondo;

 MINISTRY FOR ENERGY AND WATER MANAGEMENT WSC, QORMI ROAD, LUQA, MALTA	 	CONTRACT N. CT 3108/2018	JOB 171001
	LOCATION MALTA & ITALY	DOC. 30-RT-E-6034	
	PROJECT MELITA TRANSGAS PIPELINE	Sheet 14 of 18	Rev. 5

U_c velocità di corrente;

ξ_B un parametro dato dall'espressione $\xi_B = C \sqrt{\frac{f_w}{2g}}$;

f_w coefficient di Jonsson $f_w = \exp\left(-5.977 + 5.213 \left(\frac{a_b}{r}\right)^{-0.194}\right)$;

a_b ampiezza dello spostamento delle particelle d'acqua indotte dall'onda vicino al fondo

6.2 Trasporto dei sedimenti sospesi

La velocità di trasporto del carico di sedimenti sospesi q_s è derivata da q_{sb} ed è calcolata con la seguente formula:

$$1.83q_{sb} \left[I_1 \ln\left(\frac{33h}{r}\right) + I_2 \right]$$

dove:

I_1, I_2 integrali di Einstein:

$$I_1 = 0.216 \frac{A^{z_*-1}}{(1-A)^{z_*}} \int_A^1 \left(\frac{1-\zeta}{\zeta}\right)^{z_*} d\zeta$$

$$I_2 = 0.216 \frac{A^{z_*-1}}{(1-A)^{z_*}} \int_A^1 \left(\frac{1-\zeta}{\zeta}\right)^{z_*} \ln(\zeta) d\zeta$$

q_{sb} trasporto del carico di sedimento sul letto della trincea

A rugosità del fondale adimensionale $A = r/h$

Z_* numero di sospensione $Z_* = \frac{w_s}{ku_*}$

u_* velocità di taglio del letto della trincea $u_* = \left[\frac{\tau_c}{\rho} \left(1 + \frac{1}{2} \left(\xi \frac{u_b}{U} \right)^2 \right) \right]^{1/2}$

k costante di Von Karman = 0.4

w_s velocità di assestamento. Calcolata con le seguenti formule (Rif.[5]):

$$w_s = \frac{\Delta g D}{18\nu} \quad \text{per } 1 < D < 100 \mu\text{m}$$

$$w_s = \frac{10\nu}{D} \left[\left(1 + \frac{0.01\Delta g D^3}{\nu^2} \right)^{0.5} - 1 \right] \quad \text{per } 100 < D < 1000 \mu\text{m}$$

$$w_s = 1.1(\Delta g D)^{0.5} \quad \text{per } D > 1000 \mu\text{m}$$

ν viscosità cinematica.

 MINISTRY FOR ENERGY AND WATER MANAGEMENT WSC, QORMI ROAD, LUQA, MALTA	 	CONTRACT N. CT 3108/2018	JOB 171001
	LOCATION MALTA & ITALY	DOC. 30-RT-E-6034	
	PROJECT MELITA TRANSGAS PIPELINE	Sheet 15 of 18	Rev. 5

6.3 Riempimento del letto della trincea per gravità del carico di sedimenti

L'angolo di deviazione φ tra il percorso delle particelle e la direzione del flusso è (Rif.[4]):

$$\tan \varphi = \frac{\tan \gamma}{\tan \Phi}$$

dove:

γ = pendenza dello scavo;

Φ = angolo di attrito dinamico.

Dalla definizione di φ , che è l'angolo con cui il percorso delle particelle si discosta dalla direzione del flusso locale, abbiamo:

$$\frac{dq_{bt}}{dq_{sb}} = \tan \varphi$$

dove:

q_{sb} = velocità di trasporto del carico sul letto della trincea in direzione longitudinale;

q_{bt} = componente trasversale del trasporto di sedimenti sul letto della trincea.

Questo trasporto di carico trasversale sul letto della trincea cambierà il livello del fondale, h , secondo la seguente equazione di continuità dei sedimenti:

$$\frac{dq_{bt}}{dx} = -(1 - n) \frac{dh}{dt}$$

dove:

n = porosità dei sedimenti;

h = profondità dell'acqua;

q_{bt} = la componente trasversale del trasporto del carico al fondo.

6.4 Sezioni della Trincea

Nell'analisi vengono prese in considerazione due diverse sezioni di trincea.

La prima all'uscita dell'HDD con le seguenti dimensioni:

- Profondità =4.4m;
- Lunghezza della trincea lungo la rotta del tubo =50m;
- Larghezza del fondo =3m;
- Pendenza laterale 1:3.

La seconda a 50 metri dalla prima sezione, con le seguenti dimensioni:

- Profondità =2.2m;
- Lunghezza della trincea lungo la rotta del tubo =50m;
- Larghezza del fondo =3m;

 MINISTRY FOR ENERGY AND WATER MANAGEMENT WSC, QORMI ROAD, LUQA, MALTA	 	CONTRACT N. CT 3108/2018	JOB 171001
	LOCATION MALTA & ITALY	DOC. 30-RT-E-6034	
	PROJECT MELITA TRANSGAS PIPELINE	Sheet 16 of 18	Rev. 5

- Pendenza laterale 1:3.

La figura seguente illustra le due sezioni di trincea analizzate.

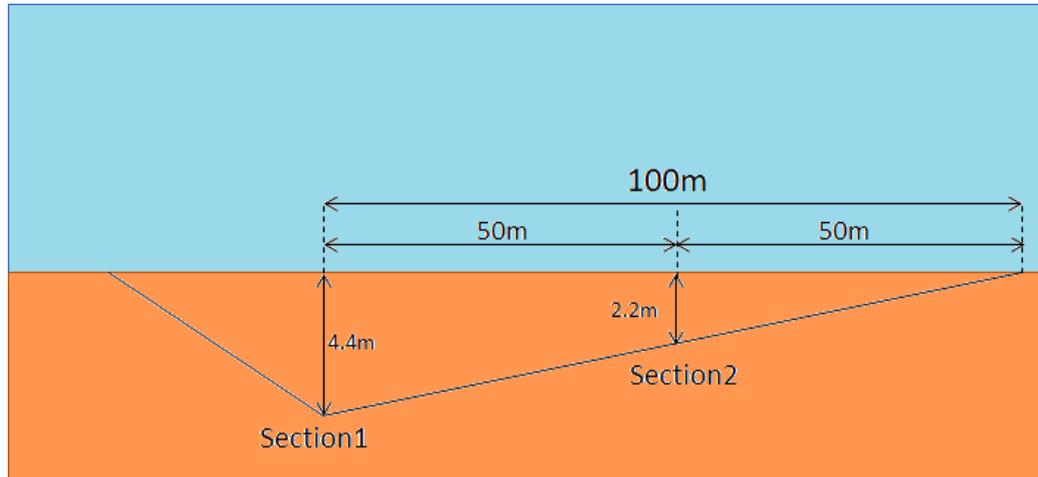
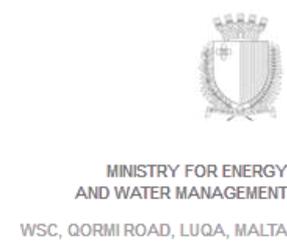


Figura 6 – Dimensioni delle sezioni dello scavo analizzate

Il volume di sedimenti calcolato per le due sezioni di trincea e per ogni step di tempo, è stato interpolato linearmente per ottenere il volume totale che riempie la trincea.

		CONTRACT N. CT 3108/2018	JOB 171001
	LOCATION MALTA & ITALY	DOC. 30-RT-E-6034	
	PROJECT MELITA TRANSGAS PIPELINE	Sheet 17 of 18	Rev. 5

7 RISULTATI

7.1 Caso Base

Sono stati utilizzati i seguenti dati meteo-oceanici e geotecnici:

- Distribuzione annuale delle onde e della corrente (Rif.[8]);
- Terreno sabbioso ($D_{50}=0.09\text{mm}$, $D_{90}=0.19\text{mm}$) (Rif.[9]);
- Contenuto di argilla 17.8% (Rif.[9]);
- corrente che si assume proveniente da una direzione parallela alla linea di costa.

La figura seguente mostra il profilo dello scavo all'uscita dell'HDD nei 3 differenti casi analizzati: in 10 giorni, 20 giorni e 30 giorni.

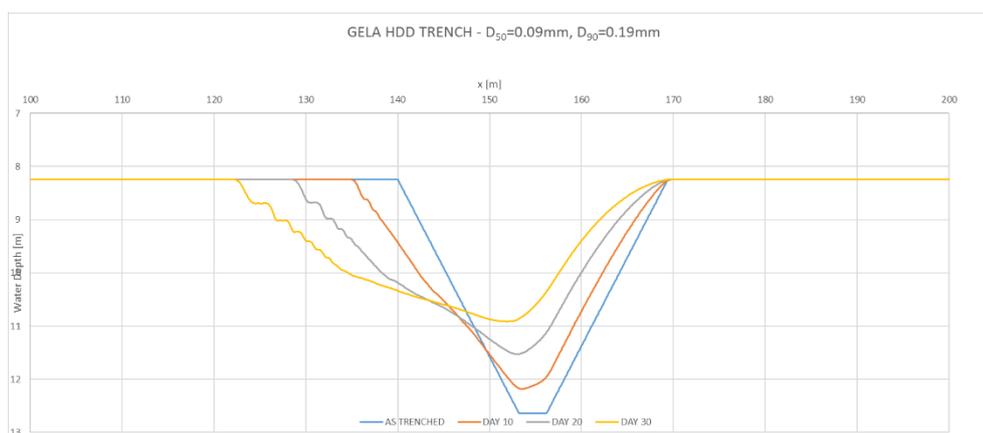


Figura 7 – Profilo dello scavo all'uscita dell'HDD (sezione 1)

Una sezione successiva dello scavo (a 50 m dalla prima, che si trova all'uscita dell'HDD), con un'altezza minore di 2,2 m, è stata analizzata in 3 diverse fasi temporali ed è mostrata nella figura seguente (a 10 giorni, 20 giorni e 30 giorni).

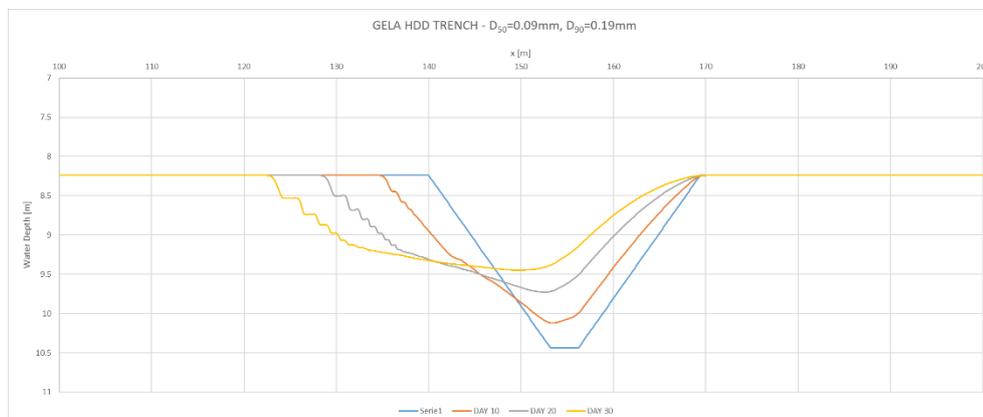


Figura 8 – Profilo dello scavo a 50m dall'uscita dell'HDD (sezione 2)

 MINISTRY FOR ENERGY AND WATER MANAGEMENT WSC, QORMI ROAD, LUQA, MALTA	 		CONTRACT N. CT 3108/2018	JOB 171001
	LOCATION MALTA & ITALY		DOC. 30-RT-E-6034	
	PROJECT MELITA TRANSGAS PIPELINE		Sheet 18 of 18	Rev. 5

I risultati del volume di sedimenti trasportati nella trincea sono calcolati interpolando i valori tra le due sezioni riportate sopra e riassunti qui di seguito:

- circa 507m³ in 10 giorni;
- circa 1094m³ in 20 giorni;
- circa 1582m³ in 30 giorni.