	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 1 di 28	Rev. 01


Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

EMERGENZA GAS
INCREMENTO DI CAPACITÀ DI RIGASSIFICAZIONE (DL 17.05.2022, n. 50)
ALLACCIAMENTO FSRU DI RAVENNA (Tratto a Mare) DN 650 (26") DP 100 bar

RAPPORTO DI CALCOLO PER LA PROTEZIONE CATODICA

<i>CUP ASSEGNATO AL PROGETTO</i>	<i>E63F22000090007</i>
----------------------------------	------------------------


01	Emissione per Appalto	R. Gargiulo	A. Abboni	C. Mordini	10/11/22
00	Emissione per Commenti	R. Gargiulo	A. Abboni	C. Mordini	10/10/22
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 2 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

INDICE

LISTA DELLE TABELLE.....	4
ACRONIMI	4
1 INTRODUZIONE	6
1.1 GENERALITÀ.....	7
1.2 SISTEMA DI MISURA.....	7
2 SISTEMA DI COORDINATE, LUOGO E LIMITI DI BATTERIA.....	8
2.1 SISTEMA E COORDINATE DI RIFERIMENTO	8
2.2 LIMITI DI BATTERIA.....	8
3 DATI BASE E CRITERI DI PROGETTO.....	9
3.1 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA DA PROTEGGERE.....	9
3.2 GENERALE	9
3.3 VITA DI PROGETTO	9
3.4 CARATTERISTICHE MECCANICHE E GEOMETRICHE DEL METANODOTTO.....	9
3.5 DATI DI PROCESSO.....	10
3.6 TEMPERATURA DEL MARE.....	10
3.7 CONDIZIONI DI POSA DEL METANODOTTO E RESISTIVITÀ.....	11
3.8 COATING BREAKDOWN FACTOR	11
3.9 DENSITÀ DI CORRENTE DI PROTEZIONE	12
3.10 POTENZIALI DI PROTEZIONE	13
3.11 ANODI SACRIFICALI.....	13
3.11.1 <i>Materiali e Tipologia</i>	13
3.11.2 <i>Fattore di Utilizzo e Proprietà Elettrochimiche</i>	13
4 METODOLOGIA.....	14
4.1 GENERALE	14
4.2 CORRENTI DI PROTEZIONE RICHIESTE	16
4.3 CALCOLO DELLA MASSA ANODICA RICHIESTA	17
4.4 CALCOLO DELLA CORRENTE EROGATA DAGLI ANODI	17

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 3 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

4.5 CALCOLO DEL NUMERO DI ANODI IN FUNZIONE DELLA MASSA ANODICA E DELLA CORRENTE EROGATA 18


5 CALCOLI..... 20

5.1	CORRENTI DI PROTEZIONE RICHIESTE	20
5.1.1	<i>Riser</i>	20
5.1.2	<i>Spool</i>	20
5.1.3	<i>Sealine (da KP 0.00 a KP 1.00)</i>	20
5.1.4	<i>Sealine (da KP 1.00 a KP 7.156)</i>	20
5.1.5	<i>Microtunnel</i>	20
5.2	CALCOLO DELLA MASSA ANODICA RICHIESTA	21
5.2.1	<i>Riser</i>	21
5.2.2	<i>Spool</i>	21
5.2.3	<i>Sealine (da KP 0.00 a KP 1.00)</i>	21
5.2.4	<i>Sealine (da KP 1.00 a KP 7.156)</i>	21
5.2.5	<i>Microtunnel</i>	21
5.3	CALCOLO DELLA CORRENTE EROGATA DAGLI ANODI	22
5.4	CALCOLO DEL NUMERO DI ANODI	22
5.4.1	<i>Numero di Anodi in funzione della Massa Anodica</i>	23
5.5	NUMERO DI ANODI IN FUNZIONE DELLA CORRENTE EROGATA	23
5.5.1	<i>Riser</i>	23
5.5.2	<i>Spool</i>	24
5.5.3	<i>Sealine (da KP 0.00 a KP 1.00)</i>	24
5.5.4	<i>Sealine (da KP 1.00 a KP 7.156)</i>	24
5.5.5	<i>Microtunnel</i>	24
5.6	NUMERO DI ANODI IN FUNZIONE DELLA SPAZIATURA	24

6 RISULTATI..... 26

REFERENZE..... 28

NORMATIVE E STANDARD INTERNAZIONALI.....	28
DOCUMENTI DI PROGETTO	28
ALTRI DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	28

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 4 di 28	Rev. 01


Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

LISTA DELLE TABELLE

Tabella 3.1: Caratteristiche Meccaniche e Geometriche del Metanodotto Sottomarino allacciamento FSRU – Punta Marina	9
Tabella 3.2: Temperature di Progetto ed Operative	10
Tabella 3.3: Valori minimo e massimo di Temperatura dell'Acqua di superficie nel Triennio 2017-2019	11
Tabella 3.4: Costanti per il Calcolo dei CBF	12
Tabella 3.5: Coating Breakdown Factor	12
Tabella 4.1: Dati di Input per CP Metanodotto ND 26" allacciamento FSRU Ravenna-Punta Marina	15
Tabella 4.2: Sommario delle caratteristiche Geometriche degli anodi a bracciale	16
Tabella 5.1: Sommario degli anodi a bracciale	25
Tabella 6.1: Sommario del numero di anodi finale del Sistema di Protezione Catodica relativi al Metanodotto ND 26" allacciamento FSRU Ravenna – Punta Marina	27


ACRONIMI

3LPE	Three Layer Polietilene
Ag/AgCl	Argento / Cloruro di Argento (Elettrodo di Riferimento)
Al-Zn-In	Alluminio Zinco Indio
CBF	Coating Breakdown Factor
CC	Concrete Coating (Rivestimento di Calcestruzzo Armato)
CP	Protezione Catodica (Cathodic Protection)
CS	Acciao Al Carbonio (Carbon Steel)
DNV	Det Norske Veritas
FJC	Rivestimento del Giunto Saldato in Campo (Field Joint Coating)
FSRU	Floating Storage and Regasification Unit
HSS	Heat Shrink Sleeve
ISO	International Organization for Standardization
ND	Diametro Nominale

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 5 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

OD	Diametro Esterno
SI	Sistema Internazionale

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 6 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

1 INTRODUZIONE


Nell'ambito delle iniziative legate alla realizzazione di nuove capacità di rigassificazione regolate dall'art.5 del DL n.50 del 17/5/2022 e mirate a diversificare le fonti di approvvigionamento di gas ai fini della sicurezza energetica nazionale, la Società Snam FSRU Italia, controllata al 100% da Snam S.p.A ("Snam"), ha ottenuto in data 07.11.2022 l'Autorizzazione Unica rilasciata dal Commissario straordinario di Governo, per realizzare le opere a mare ed a terra necessarie all'ormeggio di un mezzo navale tipo FSRU (Floating Storage and Regasification Unit) in corrispondenza della piattaforma offshore esistente denominata Petra posta a circa 8,5 km a largo di Punta Marina (Ravenna) e il trasferimento del gas naturale fino al punto di collegamento con la Rete Nazionale Gasdotti in corrispondenza dell'impianto Nodo di Ravenna di Snam Rete.

L'FSRU sarà in grado di stoccare fino a 170 mila metri cubi di Gas Naturale Liquefatto (GNL).

Le opere previste nel Progetto FSRU Ravenna sono le seguenti (Rif. Planimetria PG-COR-E-35530):

1. Adeguamento e ampliamento della esistente piattaforma Petra inclusiva di tutte le opere impiantistiche necessarie allo scarico del gas naturale ed il suo convogliamento nella condotta sottomarina.
2. Posa di una nuova condotta sottomarina (c.d. sealine) DN 650 (26") – DP 100 barg lunga circa 8,5 km, per collegare la piattaforma Petra ed il punto di arrivo a terra posto in corrispondenza dell'area impianto denominata ex-SAROM situata a Punta Marina a ridosso della linea di costa, inclusiva della realizzazione del microtunnel costiero e della posa del cavo a fibra ottica.
3. Posa del tratto di condotta a terra DN 650(26") – DP 100 barg lunga circa 2,5 km tra l'area ex-SAROM e l'impianto trappole previsto all'interno dell'area impianto PDE a Punta Marina
4. Posa del tratto di condotta a terra DN 900(36") – DP 75 barg lunga circa 31,5 km tra l'impianto trappole previsto all'interno dell'area impianto PDE e l'area del Nodo di Ravenna di Snam Rete Gas. Il tratto include anche la realizzazione dell'impianto di correzione dell'Indice di Wobbe, dell'impianto di filtraggio, misura e regolazione PDE di Punta Marina e dell'impianto trappole e collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti denominato Nodo di Ravenna.
5. La realizzazione, in opzione, di una diga foranea in cassoni prefabbricati con funzione di barriera frangi flutti posta a circa 300 ad est della piattaforma di ormeggio Petra.

Il presente documento riporta la metodologia ed i calcoli della progettazione di dettaglio per la protezione catodica del tratto offshore del Metanodotto ND 26", con riferimento ai lavori relativi al punto 2 della lista sopra riportata.

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 7 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

1.1 Generalità

La progettazione della protezione catodica, si basa sull'utilizzo di anodi sacrificali in Alluminio-Zinco-Indio in congiunzione con il sistema di rivestimento anticorrosivo in 3LPE della superficie esterna del metanodotto.


La progettazione del sistema di anodi galvanici sacrificali per la protezione catodica include:

- ✓ Definizione delle dimensioni e massa degli anodi;
- ✓ Definizione del numero di anodi da installare;
- ✓ Distribuzione degli anodi lungo il metanodotto.

Il tracciato preliminare del metanodotto DN 26" è mostrato nei disegni di progetto.

1.2 Sistema di Misura

Il sistema di misura è in accordo con il Sistema Internazionale SI. Le unità Imperiali sono ammesse solo per il diametro nominale del Metanodotto.

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 8 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

2 SISTEMA DI COORDINATE, LUOGO E LIMITI DI BATTERIA


2.1 Sistema e Coordinate di riferimento

Il sistema di riferimento per le coordinate è WGS84 / UTM 33N.

2.2 Limiti di Batteria

I limiti di batteria del metanodotto sottomarino (tratto a mare + microtunnelling) DN 26" di allacciamento tra l'approdo della FSRU presso la Piattaforma offshore esistente Petra e Punta Marina sono:

- ✓ tratto sommerso del riser della Piattaforma offshore Petra di approdo della FSRU;
- ✓ giunto isolante in entrata microtunnel di collegamento fra tratto offshore e tratto onshore del metanodotto.

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 9 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

3 DATI BASE E CRITERI DI PROGETTO

3.1 Descrizione della Struttura da Proteggere

La struttura da proteggere con il sistema di protezione catodica è il tratto sottomarino del metanodotto DN 26" che parte dal riser presso il terminale di approdo della FSRU (Piattaforma offshore esistente Petra) e termina in corrispondenza dell'entrata del microtunnel di collegamento con il tratto onshore del metanodotto.

Si assume che il metanodotto è interrato sino all'uscita del microtunnel per poi proseguire in microtunnel fino al collegamento con il tratto onshore.

3.2 Generale

Il sistema di protezione catodica del Metanodotto sottomarino DN 26" è progettato in accordo ai requisiti dello Standard Internazionale ISO 15589-2 ([Rif. 01]).

Il sistema di protezione catodica del metanodotto sottomarino, si basa sull'azione congiunta di un sistema di rivestimento anticorrosione in accordo ai [Rif. 04] e [Rif. 05] e anodi sacrificali in Al-Zn-In.

3.3 Vita di Progetto


Il sistema di protezione catodica è stato progettato per garantire la completa protezione del tratto sottomarino del metanodotto per un ciclo stimato di 50 anni.

3.4 Caratteristiche Meccaniche e Geometriche del Metanodotto

Le caratteristiche meccaniche e geometriche del metanodotto sottomarino DN 26" sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 3.1: Caratteristiche Meccaniche e Geometriche del Metanodotto Sottomarino allacciamento FSRU – Punta Marina

PARAMETRI	UNITA'	VALORI
Lunghezza della Condotta (totale)	m	8456
Lunghezza del tratto in microtunnelling	m	1300
Diametro Esterno	mm/inch	660.4/26 [Rif. 07]
Spessore	mm	17.6
Tolleranza su Diametro	-	In accordo con DNV-ST-F101 ([Rif. 06])
Processo di Fabbricazione		SAWL

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITÀ RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 10 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

PARAMETRI	UNITA'	VALORI
Rivestimento Esterno Anticorrosivo	-	3LPE
Spessore del Rivestimento Esterno Anticorrosivo	mm	4
Field Joint Coating ⁽¹⁾	-	HSS in accordo a ISO 21809-3 ([Rif. 05])
Spessore Rivestimento in Calcestruzzo Armato tratto sottomarino	mm	100
Spessore Rivestimento in Calcestruzzo Armato tratto microtunnelling	mm	40

Nota (1): Per il 100% degli anodi installati deve essere previsto il riempimento dello spazio compreso tra il bordo dell'anodo ed il rivestimento in calcestruzzo con una miscela di poliuretano. Il gap tra i due semigusci dell'anodo dovrà essere riempito con mastice marino isolante approvato. Il materiale di riempimento deve riempire completamente lo spazio tra i semigusci dell'anodo e l'anodo e l'estremità del rivestimento in calcestruzzo. Dopo l'applicazione del materiale di riempimento, si dovrà rimuovere ogni eccesso di materiale di riempimento e ogni materiale estraneo dalla superficie esterna dell'anodo.

3.5 Dati di Processo


Le temperature di progetto e le temperature operative sono riportate nella seguente tabella.

Tabella 3.2: Temperature di Progetto ed Operative

PARAMETRI	UNITA'	VALORI
Temperatura di Progetto	°C	Min: -10 Max: +60
Temperatura Operativa (Inlet)	°C	0

3.6 Temperatura del Mare

Le temperature del mare relative alla zona di installazione e posa del metanodotto ND 26" sono state dedotte dai riferimenti [Rif. 08] e [Rif. 09] che riportano i valori rilevati in superficie presso stazioni a 0.5 km e 3 km dalla costa. Nella seguente tabella si riportano i valori minimi e massimi registrati nel triennio 2017/2019.

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 11 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

Tabella 3.3: Valori minimo e massimo di Temperatura dell'Acqua di superficie nel Triennio 2017-2019

PARAMETRI	UNITA'	VALORI
Temperatura Minima	°C	5.08
Temperatura Massima	°C	30.92

I valori medi registrati in superficie nel 2020 oscillano tra 17°C e 20.31°C ([Rif. 09])

Le temperature all'esterno del tubo e quindi all'interfaccia anodo/condotta, lungo il tracciato, sono legate alle variazioni stagionali della temperatura dell'acqua del mare. Infatti, la temperatura del fluido in ingresso al metanodotto di circa 0°C viene influenzata dallo scambio termico con l'acqua di mare. Tenendo conto dei valori medi, e considerando che le temperature sul fondale sono di alcuni gradi più bassi rispetto alla superficie, la temperatura per il calcolo del sistema di protezione catodica, considererà valori non eccedenti al valore massimo registrato sul fondale pari a 29.72°C, per cui in accordo con i requisiti della ISO 15589-2 Para 7.4.4, nessun incremento della densità di corrente di protezione verrà adottato.

3.7 Condizioni di Posa del Metanodotto e Resistività

Come descritto al paragrafo 3.1, il metanodotto è immerso in acqua nel tratto del riser e interrato nel fondo marino dallo spool fino all'uscita del microtunnelling.

In accordo alla ISO 15589-2 [Rif. 01], la resistività ambientale considerata sarà pari a:

- 0.3 Ohm/m nel tratto del riser;
- 1.5 Ohm/m sia nel tratto offshore sia all'interno del microtunnelling.

3.8 Coating Breakdown Factor

Il coating breakdown è utilizzato per quantificare il deterioramento del rivestimento anticorrosione durante la vita della struttura.

Esso è definito come rapporto tra la densità di corrente richiesta per proteggere una superficie rivestita con rivestimento anticorrosivo, in presenza di difetti, e la densità di corrente per proteggere la stessa superficie non rivestita.


Il metanodotto ha un rivestimento anticorrosivo in accordo ai requisiti definiti in [Rif. 04] e [Rif. 05] ed è inoltre dotato di appesantimento in calcestruzzo armato con spessore di 100 mm nel tratto a mare e 40 mm nel tratto in microtunnelling.

Il calcolo dei CBF, medio (f_c) e alla fine della vita operativa (f_f), sono in accordo con i requisiti della ISO 15589-2:

$$f_c = f_i + (0.5 \cdot \Delta f \cdot t_{dl})$$

$$f_f = f_i + (\Delta f \cdot t_{dl})$$

dove:

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 12 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

f_i = è il coating breakdown factor all'inizio della vita operativa della condotta,
 Δf = è l'incremento medio annuo del coating breakdown factor,
 t_{dl} = è la vita di progetto (anni).

I valori di f_i e Δf sono definiti in accordo con la tabella 4 della ISO 15589-2 e sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 3.4: Costanti per il Calcolo dei CBF

TIPO DI CONDOTTA	TIPO DI RIVESTIMENTO	RIEMPIMENTO FIELD JOINT	TIPOLOGIA FJC	f_i	Δf
Acciaio con appesantimento in CC	3LPE	Si	HSS	0.004	0.0002

I CBF definiti nella ISO 15589-2, includono una certa tolleranza per i danni ai rivestimenti delle condutture durante la fabbricazione, movimentazione, trasporto, installazione o funzionamento, come ad esempio i danni causati da terzi. In tutti i casi è previsto l'infill in accordo con la Nota 1 della Tabella 3.1 per il 100% degli anodi installati.

I coating breakdown factor, calcolati con le formule sopra riportate, basati sul ciclo di vita stimato in via preliminare di 50 anni, sono riportati nella seguente tabella.


Tabella 3.5: Coating Breakdown Factor

ZONA	COATING BREAKDOWN FACTOR	
	f_c	f_f
Condotta Interrata ed esposta	0.009	0.014
Nota: Assunti uguali per la tubazione e i field joint		

3.9 Densità di Corrente di Protezione

In accordo con la ISO 15589-2, indipendentemente dalla temperatura dell'acqua, contenuto di ossigeno e profondità, i valori di densità di corrente di protezione (media e finale) considerati sono:

- 80 mA/m² per il riser;
- 20 mA/m² per condotte completamente interrato nel sedimento marino (tratto offshore) e per il tratto in microtunnelling.

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 13 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

3.10 Potenziali di Protezione

In accordo con la Tabella 1 della ISO 15589-2, i potenziali di protezione rispetto all'elettrodo Ag/AgCl considerati sono:

- -0.80 V per il riser;
- -0.90 V per le parti interrate nel sedimento marino (spool e tratto offshore) e per il tratto in microtunnelling.

3.11 Anodi Sacrificali


3.11.1 Materiali e Tipologia

Gli anodi sacrificali sono a base alluminio attivati con Indio (Al-Zn-In) in accordo con il [Rif. 01]. La densità è 2.87 kg/m³.

3.11.2 Fattore di Utilizzo e Proprietà Elettrochimiche

In accordo con il [Rif. 01] gli anodi avranno le seguenti caratteristiche:

- ✓ Fattore di utilizzo: 0.80;
0.75 (per anodi di spessore < 50 mm) ;
- ✓ Capacità (sommerso): 2000 Ah/kg;
- ✓ Capacità (interrato): 1500 Ah/kg;
- ✓ Potenziale a circuito chiuso (sommerso): -1.05 V vs Ag/AgCl;
- ✓ Potenziale a circuito chiuso (interrato): -1.00 V vs Ag/AgCl.

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 14 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

4 METODOLOGIA

4.1 Generale

Gli anodi sacrificali scelti per la protezione catodica del metanodotto sottomarino DN 26" allacciamento FSRU di Ravenna – Punta Marina sono costituiti da anodi a bracciale realizzati in due semigusci con estremità squadrate, saldati tra loro attorno alla tubazione collegati al tubo in acciaio mediante un cavo.


Il diametro esterno degli anodi è tale per cui esso non protruda rispetto alla superficie esterna del rivestimento in calcestruzzo adiacente.

In accordo alla ISO 15589-2, anodi aggiuntivi sono da prevedere in prossimità di terminali, piattaforme o approdi. Un fattore 2 è stato di conseguenza considerato per il calcolo della corrente di progetto necessaria per i primi 1000 m di sealine a partire dalla Piattaforma offshore esistente Petra di approdo della FSRU, compresi riser e spool. Stesso principio è applicato per il tratto all'interno del microtunnel in corrispondenza dell'approdo onshore. Per questo tratto in particolare, la scelta di raddoppiare il numero di anodi è dovuta alla maggiore difficoltà di installazione (sezione tirata sul fondo con rischio di perdita anodi) e alla impossibilità di ispezione.

In accordo con la ISO 15589-2, la distribuzione degli anodi lungo la condotta deve essere tale da mantenere una protezione adeguata in caso di perdita meccanica o elettrica di un singolo anodo non eccedendo con la spaziatura degli stessi oltre 300 m. Per tale motivo si è scelto di limitare la spaziatura tra gli anodi ad un massimo di 12 barre (circa 146 m) per la Sezione offshore tra KP 1.00 e KP 7.156.

I calcoli di progettazione del sistema CP soddisfano sia i requisiti di massa anodica richiesta sia la richiesta di corrente necessaria durante l'intero ciclo operativo della condotta, compresa la fase finale della vita di progetto.


Si riporta di seguito una tabella con i dati di input per il calcolo del sistema di protezione catodica che tiene conto delle considerazioni espone in precedenza.

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 15 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

Tabella 4.1: Dati di Input per CP Metanodotto ND 26" allacciamento FSRU Ravenna-Punta Marina

Descrizione	Tag	Unità	SEZIONI				
			Riser	Spool	Da KP 0.00 a KP 1.00 (sealine)	Da KP 1.00 a KP 7.156 (sealine)	Da KP 7.156 a KP 8.456 (microtunnel)
Diametro Nominale del Tubo	D _N	inch	26"				
Spessore del Tubo	d	mm	17.6				
Diametro Esterno del Tubo	D _E	mm	660.40				
Diametro esterno Massimo del Tubo (incluse tolleranze)	D _{E1}	mm	663.7				
Spessore del Rivestimento Anticorrosivo	AC _t	mm	4				
Pipe Overall Diameter (con tolleranze e rivestimento)	OD	mm	672				
Spessore della gunite	CC _{th}	mm	-	100			40
Lunghezza della sezione	L _s	m	16	113	1000	6156	1300
Numero di tubi	N _p	#	2	10	82	505	107
Vita di progetto	t _{dl}	years	50	50	50	50	50
Condizioni di varo della condotta	-	-	Sommersa	Interrata	Interrata	Interrata	Interrata*
Resistività Ambientale	ρ	Ω m	0.30	1.50	1.50	1.50	1.50
Coating Breakdown Factor Iniziale	f _i	-	0.004				
Incremento Medio Annuo del Coating Breakdown Factor	Δf	-	0.0002				
Coating Breakdown Factor Medio	f _{cm}	-	0.0090				
Coating Breakdown Factor Finale	f _{cf}	-	0.014				
Densità di corrente di protezione medio	i _{cm}	mA/m ²	80	20			
Densità di corrente di protezione Finale	i _{cf}	mA/m ²	80	20			
Potenziale di Protezione di Progetto	E ⁰ _c	V	-0.80	-0.90			
Fattore di utilizzo dell'Anodo	u	-	0.75	0.80			0.75

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 16 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

Descrizione	Tag	Unità	SEZIONI					
			Riser	Spool	Da KP 0.00 a KP 1.00 (sealine)	Da KP 1.00 a KP 7.156 (sealine)	Da KP 7.156 a KP 8.456 (microtunnel)	
Capacità Elettrochimica dell'Anodo	ε	Ah/kg	2000	1500				
Potenziale di Corto Circuito	E ⁰ _A	V	-1.05	-1.00				
Densità della Lega Anodica	ρ _{al}	kg/dm³	2.78					

* Il tratto all'interno del microtunnel è considerato interrato in quanto la mancanza di ricambio di acqua genera un ambiente caratterizzato da scarsità di ossigeno. I parametri scelti ricreano le condizioni più vicine alla realtà di posa.

Tabella 4.2: Sommario delle caratteristiche Geometriche degli anodi a bracciale

Descrizione	Tag	Unità	SEZIONI				
			Riser	Spool	Da KP 0.00 a KP 1.00 (sealine)	Da KP 1.00 a KP 7.156 (sealine)	Da KP 7.156 a KP 8.456 (microtunnel)
Tipo Ando / Tag	-	-	26A	26B			26A
Geometria	-	-	Squadrato	Squadrato			Squadrato
Caratteristica	-	-	Saldato	Saldato			Saldato
Diametro Interno	φ _i	mm	672	672			672
Spessore	B	mm	39	99			39
Diametro Esterno	φ _e	mm	750	870			750
Lunghezza	A	mm	350.0	350.0			350.0
Massa Netta	W _a	kg	76.0	213.0			76.0

La metodologia e le formule utilizzate sono riportate in dettaglio nei successivi paragrafi.

4.2 Correnti di Protezione Richieste


In funzione delle dimensioni (diametro e lunghezza) e del tipo di rivestimento anticorrosivo della condotta, le correnti di protezione media e finale, vengono calcolate con le seguenti formule:

$$I_{cm,riser} = A_c \times f_{cm} \times i_{cm} \times f_s$$

$$I_{cf,riser} = A_c \times f_{cf} \times i_{cf} \times f_s$$

dove:

I_{cm} Corrente media richiesta (A)

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITÀ RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 17 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

I_{cf}	Corrente finale richiesta (A)
A_c	Superficie esterna della condotta offshore (m ²)
f_{cm}	Coating breakdown factor medio
f_{cf}	Coating breakdown factor finale
f_s	Fattore di sicurezza
i_{cm}	Densità di corrente di protezione media (mA/m ²)
i_{cf}	Densità di corrente di protezione finale (mA/m ²)

I valori della corrente richiesta verranno incrementati con un fattore di sicurezza pari a 1.1.

4.3 Calcolo della Massa Anodica Richiesta

La massa anodica totale netta, necessaria per garantire la protezione catodica per l'intero ciclo di vita di progetto, verrà calcolata per ciascuna sezione della condotta con la seguente formula:

$$M = \frac{I_{cm} \cdot t_f \cdot 8760}{u \cdot \varepsilon}$$

dove:

M	Massa anodica totale netta (kg)
I_{cm}	Corrente media richiesta (A)
t_f	Vita di progetto (anni)
u	Fattore di utilizzo dell'anodo
ε	Capacità elettrochimica dell'anodo (Ah/kg)


4.4 Calcolo della Corrente Erogata dagli Anodi

Per il calcolo della corrente erogata dagli anodi è stata utilizzata la seguente formula:

$$I_{af} = \frac{(E_c^o - E_a^o)}{R_{af}}$$

dove:

I_{af}	Corrente finale erogata dal singolo anodo (A)
E_c^o	Potenziale di protezione di progetto (V)
E_a^o	Potenziale di corto circuito dell'anodo (V)

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 18 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

$(E_c^0 - E_a^0)$ Differenza di potenziale (V)
 R_{af} Resistenza anodica finale (Ω)

La resistenza anodica è stata calcolata con la seguente formula:

$$R_a = 0.315 \cdot \frac{\rho}{\sqrt{A}}$$

dove:

R_a Resistenza anodica (Ω)
 ρ Resistività ambientale (Ωm)
 A Superficie dell'anodo esposta all'ambiente esterno alla fine del ciclo vita (m^2)

La superficie dell'anodo esposta all'ambiente esterno, alla fine del ciclo di vita di Progetto, è stata calcolata con la seguente formula:

$$A = 2\pi \cdot \left(\frac{D_i}{2}\right) \cdot L - 2 \cdot G \cdot L$$

dove:

A Area superficiale esterna dell'anodo alla fine del ciclo di vita di progetto (m^2)
 D_i Diametro dell'anodo alla fine del ciclo di vita di progetto (m)
 L Lunghezza dell'anodo (m)
 G Distanza tra i due semigusci dell'anodo a bracciale installato sulla condotta (m)


Le dimensioni dell'anodo, alla fine del ciclo di vita di progetto, sono state calcolate tenendo conto del fattore di utilizzo definito al paragrafo 3.11.2.

4.5 Calcolo del Numero di Anodi in funzione della Massa Anodica e della Corrente Erogata

Quindi, il numero totale degli anodi calcolato garantisce:

- ✓ una sufficiente massa anodica necessaria alla protezione della condotta offshore per la sua intera lunghezza;
- ✓ un output di corrente necessario a proteggere la condotta offshore per la sua intera lunghezza e per tutto il ciclo di vita di progetto.

Le due seguenti condizioni dovranno essere pienamente soddisfatte:

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 19 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

$$M \leq N \cdot m_a$$

$$I_{cf} \leq I_{cf}(tot) = N \cdot I_{af}$$

dove:

N Numero totale di anodi installati sulla condotta offshore;


M Massa anodica netta totale richiesta (kg)

m_a Massa anodica netta di ciascun anodo (kg)

I_{cf} Corrente finale richiesta per la protezione dell'intera condotta offshore (A)

$I_{cf}(tot)$ Corrente finale erogata dagli N anodi (A)

I_{af} Output finale di corrente per singolo anodo (A)

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 20 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

5 CALCOLI

5.1 Correnti di Protezione Richieste

5.1.1 Riser

La corrente di protezione media e finale necessaria alla protezione del riser, calcolata con la formula al paragrafo 4.2, sarà pari a:

$$I_{cm,riser} = 33.2 \times 0.009 \times \frac{80}{1000} \times 1.1 = 0.026 \text{ A}$$

$$I_{cf,riser} = 33.2 \times 0.014 \times \frac{80}{1000} \times 1.1 = 0.041 \text{ A}$$

5.1.2 Spool

La corrente di protezione media e finale necessaria alla protezione dello spool, calcolata con la formula al paragrafo 4.2, sarà pari a:

$$I_{cm,spool} = 234,4 \times 0.009 \times \frac{20}{1000} \times 1.1 = 0,046 \text{ A}$$

$$I_{cf,spool} = 234,4 \times 0.014 \times \frac{20}{1000} \times 1.1 = 0,072 \text{ A}$$

5.1.3 Sealine (da KP 0.00 a KP 1.00)

La corrente di protezione media e finale necessaria alla protezione della sealine (da KP 0.00 a KP 1.00), calcolata con la formula al paragrafo 4.2, sarà pari a:

$$I_{cm,sealine} \text{ (da KP 0.00 a KP 1.00)} = 2074,7 \times 0.009 \times \frac{20}{1000} \times 1.1 = 0,411 \text{ A}$$

$$I_{cf,sealine} \text{ (da KP 0.00 a KP 1.00)} = 2074,7 \times 0.014 \times \frac{20}{1000} \times 1.1 = 0,639 \text{ A}$$

5.1.4 Sealine (da KP 1.00 a KP 7.156)

La corrente di protezione media e finale necessaria alla protezione della sealine (da KP 1.00 a KP 7.156), calcolata con la formula al paragrafo 4.2, sarà pari a:


$$I_{cm,sealine} \text{ (da KP 1.00 a KP 7.156)} = 12771,9 \times 0.009 \times \frac{20}{1000} \times 1.1 = 2,529 \text{ A}$$

$$I_{cf,sealine} \text{ (da KP 1.00 a KP 7.156)} = 12771,9 \times 0.014 \times \frac{20}{1000} \times 1.1 = 3,934 \text{ A}$$

5.1.5 Microtunnel

La corrente di protezione media e finale necessaria alla protezione del microtunnel, calcolata con la formula al paragrafo 4.2, sarà pari a:

$$I_{cm,microtunnel} = 2697,1 \times 0.009 \times \frac{20}{1000} \times 1.1 = 0,534 \text{ A}$$

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 21 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

$$I_{cf, microtunnel} = 2697,1 \times 0.014 \times \frac{20}{1000} \times 1.1 = 0,831 \text{ A}$$

5.2 Calcolo della Massa Anodica Richiesta

5.2.1 Riser

La massa anodica totale netta, necessaria per garantire la protezione catodica del riser per l'intero ciclo di vita di progetto, calcolata con la formula al paragrafo 4.3, sarà pari a:

$$M_{riser} = \frac{0.026 \times 50 \times 8760}{2000 \times 0.75} = 7,68 \text{ kg}$$

5.2.2 Spool

La massa anodica totale netta, necessaria per garantire la protezione catodica dello spool per l'intero ciclo di vita di progetto, calcolata con la formula al paragrafo 4.3, sarà pari a:

$$M_{spool} = \frac{0,046 \times 50 \times 8760}{1500 \times 0.8} = 16,94 \text{ kg}$$

5.2.3 Sealine (da KP 0.00 a KP 1.00)

La massa anodica totale netta, necessaria per garantire la protezione catodica della sealine (da KP 0.00 a KP 1.00) per l'intero ciclo di vita di progetto, calcolata con la formula al paragrafo 4.3, sarà pari a:

$$M_{sealine \text{ (da KP 0.00 a KP 1.00)}} = \frac{0,411 \times 50 \times 8760}{1500 \times 0.8} = 149,94 \text{ kg}$$

5.2.4 Sealine (da KP 1.00 a KP 7.156)


La massa anodica totale netta, necessaria per garantire la protezione catodica della sealine (da KP 1.00 a KP 7.156) per l'intero ciclo di vita di progetto, calcolata con la formula al paragrafo 4.3, sarà pari a:

$$M_{sealine \text{ (da KP 1.00 a KP 7.156)}} = \frac{2,529 \times 50 \times 8760}{1500 \times 0.8} = 923,03 \text{ kg}$$

5.2.5 Microtunnel

La massa anodica totale netta, necessaria per garantire la protezione catodica del microtunnel per l'intero ciclo di vita di progetto, calcolata con la formula al paragrafo 4.3, sarà pari a:

$$M_{microtunnel} = \frac{0,534 \times 50 \times 8760}{1500 \times 0.8} = 207,92 \text{ kg}$$

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 22 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

5.3 Calcolo della Corrente Erogata dagli Anodi

La superficie dell'anodo esposta all'ambiente esterno, alla fine del ciclo di vita di Progetto, calcolata con la formula al paragrafo 4.4, sarà pari a:

$$A_{26A} = (2\pi \times \frac{715}{2} \times 350 - 2 \times 100 \times 350) \div 1000000 = 0.720 \text{ m}^2$$

$$A_{26B} = (2\pi \times \frac{690.7}{2} \times 350 - 2 \times 100 \times 350) \div 1000000 = 0.690 \text{ m}^2$$

La resistenza anodica calcolata con la formula al paragrafo 4.4, sarà pari a:

$$R_{26A} = 0.315 \times \frac{1.5}{\sqrt{0.720}} = 0,557 \Omega$$

$$R_{26B, \text{riser}} = 0.315 \times \frac{0.3}{\sqrt{0.690}} = 0,114 \Omega$$

$$R_{26B, \text{microtunnel}} = 0.315 \times \frac{1.5}{\sqrt{0.690}} = 0,569 \Omega$$

La corrente erogata dagli anodi, calcolata con la formula al paragrafo 4.4, sarà pari a:

$$I_{af, 26A} = \frac{-0.9 - (-1)}{0.557} = 0,180 \text{ A}$$


$$I_{af, 26B \text{ riser}} = \frac{-0.8 - (-1.05)}{0.114} = 2,198 \text{ A}$$

$$I_{af, 26B \text{ microtunnel}} = \frac{-0.9 - (-1)}{0,569} = 0,176 \text{ A}$$

Le dimensioni dell'anodo, alla fine del ciclo di vita di progetto, sono state calcolate tenendo conto del fattore di utilizzo definito al paragrafo 3.11.2.

5.4 Calcolo del Numero di Anodi

Il numero totale degli anodi è stato incrementato con fattore moltiplicativo pari a 2 in accordo ai requisiti della ISO 15589-2 (Rif.01) per i primi 1000 m di condotta a partire dal terminale di approdo della FSRU. Lo stesso criterio è stato applicato per il tratto di condotta in microtunnelling.

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 23 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

5.4.1 Numero di Anodi in funzione della Massa Anodica

5.4.1.1 Riser

Il numero degli anodi tipo 26B per la massa anodica, calcolato con la formula al paragrafo 4.5 e moltiplicato per il fattore 2, riferito al riser sarà pari a:

$$N_{ma, riser} = \frac{7,68}{76,0} = 1 \times 2 = 2$$

5.4.1.2 Spool

Il numero degli anodi tipo 26A per la massa anodica, calcolato con la formula al paragrafo 4.5 e moltiplicato per il fattore 2, riferito allo spool sarà pari a:

$$N_{ma, spool} = \frac{16,94}{213,0} = 1 \times 2 = 2$$

5.4.1.3 Sealine (da KP 0.00 a KP 1.00)

Il numero degli anodi tipo 26A per la massa anodica, calcolato con la formula al paragrafo 4.5 e moltiplicato per il fattore 2, riferito alla sealine (da KP 0.00 a KP 1.00) sarà pari a:

$$N_{ma, sealine (da KP 0.00 a KP 1.00)} = \frac{149,94}{213,0} = 1 \times 2 = 2$$

5.4.1.4 Sealine (da KP 1.00 a KP 7.156)

Il numero degli anodi tipo 26A per la massa anodica, calcolato con la formula al paragrafo 4.5 e moltiplicato per il fattore 2, riferito alla sealine (da KP 1.00 a KP 7.156) sarà pari a:

$$N_{ma, sealine (da KP 1.00 a KP 7.156)} = \frac{923,03}{213,0} = 5$$

5.4.1.5 Microtunnel

Il numero degli anodi tipo 26B per la massa anodica, calcolato con la formula al paragrafo 4.5 e moltiplicato per il fattore 2, riferito al microtunnel sarà pari a:


$$N_{ma, microtunnel} = \frac{207,92}{76,0} = 3 \times 2 = 6$$

5.5 Numero di Anodi in funzione della Corrente Erogata

5.5.1 Riser

Il numero degli anodi tipo 26B per la corrente erogata, calcolato con la formula al paragrafo 4.5 e moltiplicato per il fattore 2, riferito al riser sarà pari a:

$$N_{c, riser} = \frac{0,041}{2,198} = 1 \times 2 = 2$$

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 24 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

5.5.2 Spool

Il numero degli anodi tipo 26A per la corrente erogata, calcolato con la formula al paragrafo 4.5 e moltiplicato per il fattore 2, riferito allo spool sarà pari a:

$$N_{c, \text{ spool}} = \frac{0,072}{0,180} = 1 \times 2 = 2$$

5.5.3 Sealine (da KP 0.00 a KP 1.00)

Il numero degli anodi tipo 26A per la corrente erogata, calcolato con la formula al paragrafo 4.5 e moltiplicato per il fattore 2, riferito alla sealine (da KP 0.00 a KP 1.00) sarà pari a:

$$N_{c, \text{ sealine (da KP 0.00 a KP 1.00)}} = \frac{0,639}{0,180} = 4 \times 2 = 8$$

5.5.4 Sealine (da KP 1.00 a KP 7.156)

Il numero degli anodi tipo 26A per la corrente erogata, calcolato con la formula al paragrafo 4.5 e moltiplicato per il fattore 2, riferito alla sealine (da KP 1.00 a KP 7.156) sarà pari a:

$$N_{c, \text{ sealine (da KP 1.00 a KP 7.156)}} = \frac{3,934}{0,180} = 22$$

5.5.5 Microtunnel

Il numero degli anodi tipo 26B per la corrente erogata, calcolato con la formula al paragrafo 4.5 e moltiplicato per il fattore 2, riferito al microtunnel sarà pari a:


$$N_{c, \text{ microtunnel}} = \frac{0,831}{0,176} = 5 \times 2 = 10$$

5.6 Numero di Anodi in funzione della Spaziatura

Il numero di anodi per ogni sezione viene definito dal valore massimo ottenuto tra il numero di anodi in funzione della massa ed il numero di anodi in funzione della corrente erogata.

Definito il numero massimo di anodi per ogni sezione, è stata poi verificata la spaziatura fra di essi.

In accordo ai requisiti definiti al Cap. 8 della ISO 15589-2, la massima distanza tra 2 anodi è stata limitata a 300m per garantire un'adeguata protezione nel caso in cui un evento meccanico e una perdita elettrica determinassero il non funzionamento di un singolo anodo. Per tale motivo si è fatta la scelta di limitare la spaziatura tra gli anodi ad un massimo di 12 barre (circa 146 m).

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 25 di 28	Rev. 01


Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

Tabella 5.1: Sommario degli anodi a bracciale

Descrizione	Unità	SEZIONI				
		Riser	Spool	Da KP 0.00 a KP 1.00 (sealine)	Da KP 1.00 a KP 7.156 (sealine)	Da KP 7.156 a KP 8.456 (microtunnel)
Tipo di Anodo / Tag	-	26A	26B	26B	26B	26A
Numero di anodi per la vita	#	2	2	2	5	6
Numero di anodi per la corrente erogata	#	2	2	8	22	10
Spaziatura risultante fra anodi (tubi)	#	1	5	10	23	11

Per la parte offshore di condotta dal KP 1.00 al KP 7.156 la spaziatura massima ammessa di dodici barre non è rispettata. Per cui per questo tratto il numero di anodi è:

$$N_{\text{MAX, sealine (da KP 1 a KP 7.15)}} = \frac{\text{Spaziatura Risultante} \times \text{Numero Anodi}}{\text{Spaziatura Massima Ammessa}} = \frac{23 \times 22}{12} = 42$$

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 26 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

6 RISULTATI

Il progetto del sistema di protezione catodica del metanodotto sottomarino DN 26" di allacciamento tra la Piattaforma offshore esistente Petra di approdo dell'FSRU fino all'ingresso del microtunnel di collegamento con il tratto onshore della pipeline, è stato eseguito in conformità con i requisiti definiti nello Standard Internazionale ISO 15589-2 ([Rif. 01]), ed è garantito dall'azione congiunta di un sistema di rivestimento anticorrosione in accordo ai [Rif. 04] e [Rif. 05] e anodi sacrificali in Al-Zi-In.

Gli anodi sacrificali per la protezione catodica del metanodotto sottomarino DN 26" saranno costituiti da anodi a bracciale standard realizzati in due semigusci con estremità squadrate, saldati tra loro attorno alla tubazione. Essi saranno collegati al tubo in acciaio mediante un cavo di collegamento in rame, con procedura "pin brazing". Il diametro esterno dell'anodo sarà a filo con la superficie esterna del rivestimento in calcestruzzo adiacente.

È stato considerato un ciclo di vita stimato in via preliminare pari a 50 anni.

Il design degli anodi si è basato su una massima temperatura operativa inferiore ai 29.72°C, per cui nessun eventuale aumento della corrente di protezione è stato considerato, in accordo al Para. 7.4.4 della ISO 15589-2.

In accordo alla ISO 15589-2, anodi aggiuntivi dovrebbero essere posizionati sulla parte della tubazione che si trova in prossimità di terminali, piattaforme o approdi. Un fattore 2 è stato di conseguenza considerato per il calcolo degli anodi necessari per i primi 1000 m a partire dalla Piattaforma offshore esistente Petra di approdo. Lo stesso principio è stato adottato per il tratto di condotta nel microtunnelling (anche considerando la maggiore difficoltà di installazione e di ispezione di questo tratto durante il ciclo operativo della condotta).


Inoltre, sempre in accordo ai requisiti definiti al Cap. 8 della ISO 15589-2, la massima distanza tra 2 anodi è stata limitata a 300m per garantire una adeguata protezione nel caso in cui un evento meccanico e una perdita elettrica determinassero il non funzionamento di un singolo anodo. Per tale motivo si è fatta la scelta di limitare la spaziatura tra gli anodi ad un massimo di 12 barre (circa 146 m) per la Sezione offshore tra KP 1.00 e KP 7.156, in modo che in caso di perdita di un anodo il limite suggerito dalla ISO 15589-2 non venga ecceduto.

Data la presenza del rivestimento di appesantimento in calcestruzzo armato, lo spessore degli anodi è stato definito evitando il protendersi dell'anodo rispetto allo spessore di gunite sui tratti di condotta attigui all'anodo stesso.

Il progetto del sistema di protezione catodica si è basato sull'utilizzo di anodi a bracciale in lega di Al-In-Zn con estremità dritte (per evitare scalini con la gunite di appesantimento) e con inserti saldati.

I criteri di progetto applicati sono:

- ✓ Richiesta di massa anodica;
- ✓ Output finale di corrente.

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 27 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

Per il criterio della massa anodica richiesta, è stato calcolato il rapporto tra la massa anodica totale richiesta e la massa totale netta da installare. Tale valore deve essere inferiore o uguale a 1.

Per il criterio della corrente finale erogata, è stato calcolato il rapporto tra la corrente finale necessaria per proteggere l'intera condotta e la corrente totale finale erogata dagli anodi da installare sulla condotta, Tale valore deve essere inferiore o uguale a 1.

Le seguenti tabelle riportano i parametri e valori di calcolo del sistema di protezione catodica per ciascuna sezione del metanodotto offshore ND 26"


Il sommario dei risultati, per ciascuna sezione, è riportato nella Tabella 6.1 seguente, assieme agli Unity Check relativi ai seguenti criteri:

- ✓ Massa anodica richiesta;
- ✓ Output di corrente.

Il sommario delle caratteristiche geometriche degli anodi selezionati per la protezione catodica del metanodotto 26", è riportato nella Tabella 4.2.

Tabella 6.1: Sommario del numero di anodi finale del Sistema di Protezione Catodica relativi al Metanodotto ND 26" allacciamento FSRU Ravenna – Punta Marina

26" CONDOTTA SOTTOMARINA – DATI ANODI						
Descrizione	Unità	SEZIONI				
		Riser	Spool	Da KP 0.00 a KP 1.00 (sealine)	Da KP 1.00 a KP 7.156 (sealine)	Da KP 7.156 a KP 8.456 (microtunnel)
Tipo di Anodo / Tag	-	26A	26B			26A
Numero di anodi per la vita	#	2	2	2	5	6
Numero di anodi per la corrente erogata	#	2	2	8	22	10
NUMERO DI ANODI FINALE	#	2	2	8	42	10

	PROGETTISTA RINA Consulting S.p.A.	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ
	LOCALITA' RAVENNA	REL-MEC-E-09067	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 28 di 28	Rev. 01

Rif. RINA: P0031312-7-2-H31

REFERENZE

Normative e Standard Internazionali

- | | | |
|-----------|-----------------|--|
| [Rif. 01] | ISO 15589-2 | Petroleum and natural gas industries — Cathodic protection of pipeline transportation systems — Part 2: Offshore pipelines |
| [Rif. 02] | UNI EN ISO 3183 | Petroleum and Natural Gas Industries – Steel Pipe for Pipeline Transportation System |
| [Rif. 03] | DNV-RP-F103 | Cathodic protection of submarine pipelines |
| [Rif. 04] | ISO 21809-1 | Petroleum and natural gas industries -- External coatings for buried or submerged pipelines used in pipeline transportation systems -- Part 1: Polyolefin coatings (3-layer PE and 3-layer PP) |
| [Rif. 05] | ISO 21809-3 | Petroleum and natural gas industries -- External coatings for buried or submerged pipelines used in pipeline transportation systems -- Part 3: Field Joint Coatings |
| [Rif. 06] | DNV-ST-F101 | Submarine pipeline system |

Documenti di Progetto

- | | | |
|-----------|-----------------|------------------|
| [Rif. 07] | REL-BAS-E-09041 | Basi di Progetto |
|-----------|-----------------|------------------|

Altri Documenti di Riferimento

- | | | |
|-----------|--|---|
| [Rif. 08] | Rapporto MARE 2017-2019 | Regione Emilia-Romagna – Assessorato a difesa del suolo e della costa, protezione civile, politiche ambientali e della montagna - Monitoraggio delle acque marino costiere e classificazione dello stato di qualità (ARPAE) |
| [Rif. 09] | Qualità ambientale delle acque marine-2020 | Regione Emilia-Romagna – Assessorato a difesa del suolo e della costa, protezione civile, politiche ambientali e della montagna – Qualità ambientale delle acque marine in Emilia-Romagna (ARPAE) |