

CO	10/06/13	Emissione per approvazione		DV	DL	LM
REVISIONE	DESCRIZIONE			EL.	CON.	APP.

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
MAGISTRATO ALLE ACQUE

**NUOVI INTERVENTI PER LA SALVAGUARDIA
DI VENEZIA**

LEGGE N.798 DEL 29-11-1984
CONVENZIONE REP. N. 7191 DEL 04-10-1991
ATTO ATTUATIVO REP 8602 DEL 08-02-2013

**INTERVENTI ALLE BOCCHE LAGUNARI PER
LA REGOLAZIONE DEI FLUSSI DI MAREA**

CUP: D51B02000050AC1

PROGETTO ESECUTIVO


WBS: MA.I1.48
WBE: MA.I1.48.PE.09

**BOCCA DI MALAMOCCO – PARATOIE E CONNETTORI
PARATOIE
PROTEZIONE CATODICA
DIMENSIONAMENTO DEGLI ANODI
RELAZIONE DI CALCOLO**

ELABORATO D. Varisco	CONTROLLATO D. Lesina	APPROVATO Mazza
N. ELABORATO MV080P-PE-MAR-2010-C0	CODICE FILE MV080P-PE-MAR-2010-C0.doc	DATA 10 Giugno 2013


CONSORZIO "VENEZIA NUOVA"

COORDINAMENTO PROGETTAZIONE		PROGETTAZIONE	
VERIFICATO: L. CARRETTA	CONTROLLATO: V. ANDONE	 ALBERTO SCOTTI IL RESPONSABILE a) servizi ambientali b) industriale c) dell'informazione n° A 9782 TECON	
 CONSORZIO VENEZIA NUOVA M. BEATO			
<small>OPERA PROTETTA AI SENSI DELLA LEGGE 22 APRILE 1941 N° 633 TUTTI I DIRITTI RISERVATI QUALSIASI RIPRODUZIONE ED UTILIZZAZIONE NON AUTORIZZATE SARANNO PERSEGUITE A RIGORE DI LEGGE</small>			

 TECNOITAL	Rev.	Data:	El. MV080P-PE-MAR-2010-C0	Pag. n. 2
	Rev. C0	Data: 10/06/2013	PROTEZIONE CATODICA DIMENSIONAMENTO DEGLI ANODI	

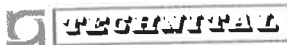
INDICE

1.	OGGETTO E SCOPO	3
2.	RIFERIMENTI	4
	2.1. Elaborati del progetto esecutivo	4
	2.2. Normative	4
3.	PARATOIA	5
4.	DATI GENERALI	7
	4.1. Durata prevista	7
	4.2. Dati relativi all'acqua di mare	7
5.	DATI DI PROGETTO DELLA PROTEZIONE CATODICA	8
	5.1. Caratteristiche principali dell'anodo sacrificale	8
	5.1.1. Materiale	8
	5.1.2. Tipo	8
	5.1.3. Massa	9
	5.1.4. Dimensioni principali	9
	5.1.5. Proprietà elettrochimiche	9
	5.2. Potenziale di protezione	9
	5.3. Densità di corrente di protezione	9
6.	CRITERI DI PROGETTO DELLA PROTEZIONE CATODICA	12
	6.1. Geometria dell'anodo sacrificale	12
	6.2. Resistenza dell'anodo	12
	6.3. Corrente erogata dall'anodo	13
	6.4. Richiesta di corrente di protezione	13
	6.5. Numero di anodi	14
7.	RISULTATI FINALI	15

	Rev.	Data:	El. MV080P-PE-MAR-2010-C0	Pag. n. 3
	Rev. C0	Data: 10/06/2013	PROTEZIONE CATODICA DIMENSIONAMENTO DEGLI ANODI	

1. OGGETTO E SCOPO

La presente relazione riporta il calcolo dettagliato del minimo numero di anodi sacrificali necessari per sviluppare una adeguata protezione catodica per gli elementi strutturali della paratoia.

	Rev.	Data:	El. MV080P-PE-MAR-2010-C0	Pag. n. 4
	Rev. C0	Data: 10/06/2013	PROTEZIONE CATODICA DIMENSIONAMENTO DEGLI ANODI	

2. RIFERIMENTI

2.1. Elaborati del progetto esecutivo


L'elenco dei documenti di progetto, nella revisione valida, è riportato nel documento:

- MV080P-PE-MZL-2001 Bocca di Malamocco - Paratoie e Connettori – Paratoie - Elenco elaborati

2.2. Normative

Le normative di riferimento per la progettazione sono:

- DNV RP B401 “Cathodic Protection Design”

	Rev.	Data:	El. MV080P-PE-MAR-2010-C0	Pag. n. 5
	Rev. C0	Data: 10/06/2013	PROTEZIONE CATODICA DIMENSIONAMENTO DEGLI ANODI	

3. PARATOIA

Le caratteristiche geometriche principali della paratoia sono:

- lunghezza totale 29,55 [m]
- lunghezza da asse cerniere 28,90 [m]
- larghezza massima 19,92 [m]
- larghezza in punta 19,86 [m]
- lunghezza rastremazione (dalla punta) 19,10 [m]
- altezza 4,50 [m]
- distanza asse cerniere da superficie superiore 0,80 [m]

La struttura è costituita da fasciami in lamiera supportati e irrigiditi da elementi strutturali secondari, detti correnti e realizzati con profilati a bulbo, sostenuti a loro volta da telai trasversali, detti ossature rinforzate, realizzati con travi composte e raccordate con squadre d'angolo.

Le travi rinforzate trasversali sono sostenute da tre linee di puntellatura longitudinali: due in corrispondenza degli elementi strutturali relativi alle cerniere, realizzate con una paratia forata, e una centrale realizzata con puntelli.

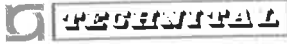
I fasciami frontale e posteriore sono irrigiditi e sostenuti da elementi di rinforzo verticali, realizzati con profili a bulbo, con le estremità collegate con squadre ai corrispondenti correnti superiore e inferiore.

I correnti dei fasciami laterali sono collegati con squadre al primo corrente verticale dei fasciami frontale e posteriore.

I correnti longitudinali e verticali sono disposti con un intervallo d'ossatura tipico di 625 mm.

I telai trasversali rinforzati e i relativi elementi di puntellatura sono disposti a intervalli di 2000/2500 mm.

I correnti non vengono interrotti in corrispondenza di ogni telaio trasversale, ma sono continui attraverso intagli, di geometria opportuna, nell'anima delle travi rinforzate mantenendo il collegamento con l'anima stessa.

	Rev.	Data:	El. MV080P-PE-MAR-2010-C0	Pag. n. 6
	Rev. C0	Data: 10/06/2013	PROTEZIONE CATODICA DIMENSIONAMENTO DEGLI ANODI	

Le paratie longitudinali laterali sono opportunamente rinforzate in corrispondenza dei fori per i perni dei gruppi cerniera-connettore e dei punti di aggancio dei dispositivi per il sollevamento della paratoia.

La paratoia è leggermente rastremata sui fianchi, da circa un terzo della lunghezza fino alla punta, mediante deviazione dei fasciami laterali, fino a un massimo di 30 mm per lato; l'entità della riduzione è irrilevante ai fini delle verifiche.

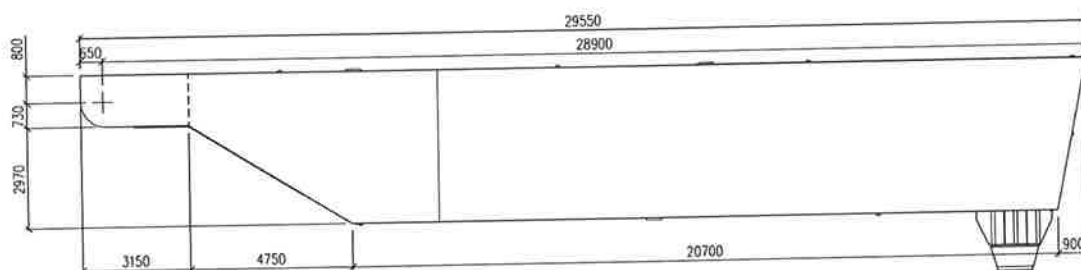
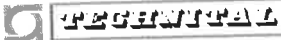


FIG. 3.1 – PARATOIA – VISTA LATERALE

Nel calcolo dettagliato degli anodi sacrificali le superfici degli elementi costituenti la struttura e l'allestimento della paratoia sono state divise secondo il seguente criterio:

- Area esterna della paratoia = 1.952 m²
- Area interna della paratoia = 4.345 m²

Il calcolo è eseguito con riferimento alle norme DNV RP B401 “Cathodic Protection Design”.

	Rev.	Data:	El. MV080P-PE-MAR-2010-C0	Pag. n. 7
	Rev. C0	Data: 10/06/2013	PROTEZIONE CATODICA DIMENSIONAMENTO DEGLI ANODI	

4. DATI GENERALI

4.1. Durata prevista

Nel calcolo, in accordo con gli interventi quinquennali di ispezione e manutenzione, è stata considerata la durata di anodi e di pittura protettiva come di seguito specificato:


- Superficie esterna 5 anni
- Superficie interna 10 anni

Per la superficie esterna si prevedono sia il rifacimento del rivestimento sia la sostituzione degli anodi in corrispondenza di ogni ispezione quinquennale.

Per la superficie interna, la necessità di erogare elevate densità di corrente in presenza di condizioni anaerobiche richiede un numero elevato di anodi, il cui consumo in soli 5 anni sarebbe troppo basso. Si prevede quindi la sostituzione degli anodi ed il rifacimento del rivestimento ogni 10 anni, mentre l'ispezione ed il controllo avverranno sempre ogni 5 anni.

4.2. Dati relativi all'acqua di mare

Si assume una resistività (ρ) di 0.20 Ohm.m.

 PROTEZIONE	Rev.	Data:	EI. MV080P-PE-MAR-2010-C0	Pag. n. 8
	Rev. C0	Data: 10/06/2013	PROTEZIONE CATODICA DIMENSIONAMENTO DEGLI ANODI	

5. DATI DI PROGETTO DELLA PROTEZIONE CATODICA

5.1. Caratteristiche principali dell'anodo sacrificale

5.1.1. Materiale

E' previsto l'utilizzo di anodi sacrificali di zinco conforme a US Specification MIL-A-18001J, con la seguente composizione chimica:

- Cu 0.005 % max
- Fe 0.005 % max
- Pb 0.006 % max
- Si 0.125 % max
- Al 0.10 – 0.50 %
- Cd 0.027 – 0.07 %

5.1.2. Tipo

Sono previsti anodi piatti, montati mediante bullonatura. Gli anodi hanno dimensioni e masse adeguate alle diverse sistemazioni su superfici interne (tipo AI1 e AI2) ed esterne (tipo AE1).

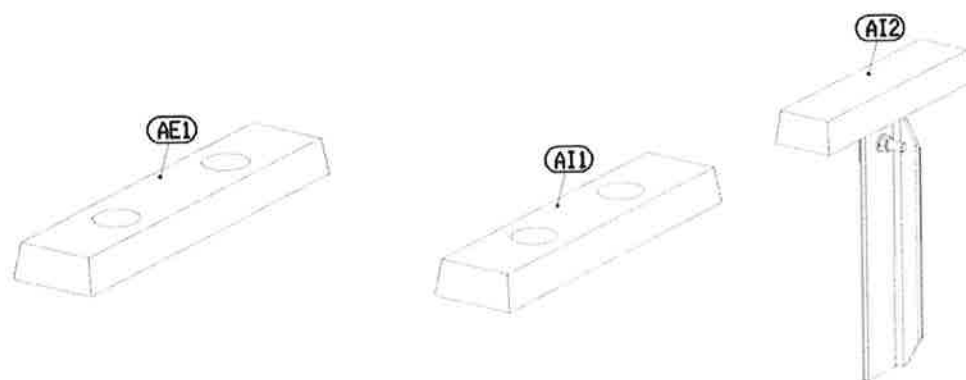



FIG. 5.1 – TIPO DI ANODI

	Rev.	Data:	El. MV080P-PE-MAR-2010-C0	Pag. n. 9
	Rev. C0	Data: 10/06/2013	PROTEZIONE CATODICA DIMENSIONAMENTO DEGLI ANODI	

5.1.3. Massa

Massa netta di ciascun anodo per superfici esterne, tipo AE1:	17.3 kg
Massa netta di ciascun anodo per superfici interne,	
Tipo AI1 (tutte le superfici interne escluso il fondo paratoia)	6.5 kg
Tipo AI2 (superficie del fondo paratoia)	9.4 kg

5.1.4. Dimensioni principali

Anodo per superfici esterne Tipo AE1: 490 mm * 120 mm * 50 mm

Anodi per superfici interne Tipo AI1: 300 mm * 80 mm * 45 mm

Anodi per superfici interne Tipo AI2: 330 mm * 85 mm * 45 mm

5.1.5. Proprietà elettrochimiche

- Efficienza elettrochimica (ϵ) 750 Ah/kg
- Potenziale dell'anodo a circuito chiuso (E_a^0) -1.050 mV vs Ag/AgCl

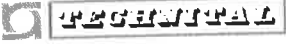
5.2. **Potenziale di protezione**

Il potenziale di protezione è pari a -900 mV vs Ag/AgCl per la possibilità che si instauri un ambiente anaerobico nelle superfici interne e localmente nelle superfici esterne al di sotto del macrofouling.

5.3. **Densità di corrente di protezione**

Durante la vita della paratoia, la densità di corrente di protezione varia poiché la formazione di depositi calcarei riduce la domanda di corrente. Nel dimensionamento del sistema di protezione catodica vengono utilizzate le seguenti densità di corrente di protezione:

- Iniziale: è la densità di corrente necessaria per ottenere la polarizzazione iniziale della struttura.

	Rev.	Data:	El. MV080P-PE-MAR-2010-C0	Pag. n. 10
	Rev. C0	Data: 10/06/2013	PROTEZIONE CATODICA DIMENSIONAMENTO DEGLI ANODI	


- **Media** (di mantenimento): è la densità di corrente richiesta per mantenere il livello di polarizzazione della struttura.
- **Finale** (ri-polarizzazione): è la densità di corrente richiesta per ottenere nuovamente la polarizzazione della struttura in seguito ad una operazione di pulizia.

Le densità di corrente di protezione (i_c) iniziale, media e finale di progetto sono determinate in accordo con le norme DNV RP B401 1993 ed i dati sperimentali citati nel documento VE4712-PMRF01:


Area	Densità di corrente (mA/m ²)		
	Iniziale	Mantenimento	Finale
Superfici esterne	100	55	70
Superfici interne	200	50	200

La corrente di protezione viene determinata includendo anche il fattore di danneggiamento del rivestimento. Per effetto dell'invecchiamento della pittura e danneggiamenti meccanici, i difetti del rivestimento aumentano nel tempo. In accordo con esperienze su vernici nel campo marino e off-shore e le caratteristiche dei rivestimenti vengono adottati i seguenti fattori:

Danneggiamento del rivestimento	$f_{C,I}$ Iniziale	$f_{C,M}$ Medio	$f_{C,F}$ Finale
Superfici esterne <u>Vernice a base epossidica</u> , almeno 2 mani, NDFT minimo 375 microns <u>Rivestimento foul release</u> , preferibilmente minimo 2 mani, NDFT minimo 250 microns (su tutte le superfici esterne, eccetto il fasciame inferiore) <i>Durata prevista 5 anni</i>	2%	4%	6%

	Rev.	Data:	El. MV080P-PE-MAR-2010-C0	Pag. n. 11
	Rev. C0	Data: 10/06/2013	PROTEZIONE CATODICA DIMENSIONAMENTO DEGLI ANODI	

Danneggiamento del rivestimento	f _{C,I} Iniziale	f _{C,M} Medio	f _{C,F} Finale
Superfici interne <u>Vernice a base epossidica,</u> almeno 2 mani, NDFT minimo 375 microns <i>Durata prevista 10 anni</i>	2%	7%	10%

	Rev.	Data:	El. MV080P-PE-MAR-2010-C0	Pag. n. 12
	Rev. C0	Data: 10/06/2013	PROTEZIONE CATODICA DIMENSIONAMENTO DEGLI ANODI	

6. CRITERI DI PROGETTO DELLA PROTEZIONE CATODICA

6.1. Geometria dell'anodo sacrificale

Per l'anodo sulla superficie da proteggere si adotta un fattore di utilizzo (u) pari a 80%.

6.2. Resistenza dell'anodo

Formula per il calcolo della resistenza dell'anodo:

anodo montato sulla lamiera:
$$R_A = \frac{\rho}{(L + w_a)}$$

anodo montato su supporto:

se $L \geq 4r$:
$$R_A = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{r} - 1 \right)$$

se $L < 4r$:
$$R_A = \frac{\rho}{2\pi L} \left\{ \ln \left[\frac{2L}{r} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{r}{2L} \right)^2} \right) \right] + \frac{r}{2L} - \sqrt{1 - \left(\frac{r}{2L} \right)^2} \right\}$$

dove:

ρ = resistività dell'ambiente Ωm

L = lunghezza dell'anodo m

w_a = larghezza dell'anodo m

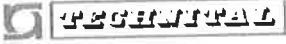
r = raggio dell'anodo m

se l'anodo non è cilindrico $r = \frac{\text{perimetro}}{2\pi}$

Per il calcolo della resistenza finale dell'anodo, la sua lunghezza finale è come segue:

$$L_F = L - 0.1 \times u \times L$$

La resistenza anodica è calcolata alle condizioni iniziali e alle condizioni finali in seguito ad una riduzione del volume dovuta al consumo calcolato in modo conservativo a mezzo del fattore di utilizzo (u) come segue:

	Rev.	Data:	EI. MV080P-PE-MAR-2010-C0	Pag. n. 13
	Rev. C0	Data: 10/06/2013	PROTEZIONE CATODICA DIMENSIONAMENTO DEGLI ANODI	

$$\begin{aligned} \text{volume (finale)} &= \text{volume (iniziale)} \times (1 - u) \\ \text{lunghezza (finale)} &= \text{lunghezza (iniziale)} - 0.1 \times u \times L \\ \text{raggio equivalente (finale)} &= \text{calcolato dalla lunghezza e volume finali} \end{aligned}$$

La forma finale dell'anodo ridotto si assume semicircolare per gli anodi montati sulla lamiera e circolare per quelli montati su supporto.

6.3. Corrente erogata dall'anodo

La corrente erogata da ciascun anodo è determinata dividendo il potenziale effettivo per la resistenza dell'anodo:

$$I_A = \frac{\Delta E}{R_A}$$

Dove ΔE è il potenziale effettivo = $E_p - E_A$ (potenziale di protezione – potenziale a circuito chiuso).

La corrente erogata è calcolata nelle condizioni iniziale e finale.

6.4. Richiesta di corrente di protezione


La richiesta di corrente di protezione totale è determinata come segue:

$$I = W_s \times f_c \times i_c$$

dove:

$$\begin{aligned} I &= \text{Corrente di protezione} && \text{A} \\ W_s &= \text{superficie totale da proteggere} && \text{m}^2 \\ f_c &= \text{fattore di danneggiamento del rivestimento} \\ i_c &= \text{densità di corrente di protezione necessaria} && \text{A/m}^2 \end{aligned}$$

La richiesta di corrente di protezione è calcolata nelle condizioni iniziale, finale (ri-polarizzazione) e media (mantenimento).

	Rev.	Data:	EI, MV080P-PE-MAR-2010-C0	Pag. n. 14
	Rev. C0	Data: 10/06/2013	PROTEZIONE CATODICA DIMENSIONAMENTO DEGLI ANODI	

6.5. Numero di anodi

Il minimo numero di anodi necessario è calcolato in base alla richiesta di corrente di protezione ed alla durata come di seguito indicato.

Il numero di anodi necessario basato sulla richiesta di corrente di protezione (N_I) è dato da:

$$N_I = \max \left[N_{I,I} = \frac{I_{cl}}{I_{al}}; N_{I,F} = \frac{I_{cF}}{I_{aF}} \right]$$

dove:

I_{cl}	=	richiesta di corrente di protezione iniziale	A
I_{cF}	=	richiesta di corrente di ri-polarizzazione	A
I_{al}	=	corrente anodica erogata nella condizione iniziale	A
I_{aF}	=	corrente anodica erogata nella condizione finale	A

Il numero di anodi necessario basato sulla richiesta di massa (durata) (N_D) è dato da:

$$N_D = \frac{M}{m}$$

dove:

M	=	massa netta totale degli anodi	kg
m	=	massa netta di un anodo	kg


La massa totale degli anodi è data da:

$$M_T = \frac{I_M \times DL \times 8760}{u \times \varepsilon}$$

dove:

I_M	=	richiesta di corrente di protezione di mantenimento (media)	A
DL	=	durata prevista degli anodi	anni
u	=	fattore di utilizzo	
ε	=	efficienza elettrochimica	Ah/kg

Il numero di anodi finale N_A è il massimo tra N_I e N_D .

	Rev.	Data:	El. MV080P-PE-MAR-2010-C0	Pag. n. 15
	Rev. C0	Data: 10/06/2013	PROTEZIONE CATODICA DIMENSIONAMENTO DEGLI ANODI	

7. RISULTATI FINALI

La tabella seguente riassume i risultati finali del numero di anodi necessario, calcolato con le superfici rilevate dai disegni di progetto esecutivo, in base alla corrente iniziale e di ri-polarizzazione ed in base alla durata garantendo la corrente di mantenimento di progetto:

Superficie	N. di anodi necessari	Massa netta necessaria (kg)	Tipo di anodo
Esterna	22	381	490x120x50
Interna (escluso fondo)	236	1534	300x80x45
Interna (fondo)	82	771	330x85x45
Totale	340	2686	

In aggiunta agli anodi indicati in tabella, sono stati aggiunti 2 anodi tipo AE1 in corrispondenza del connettore per proteggere le superfici della femmina e della forcella esposte all'acqua così come richiesto, all'interno dello "Studio B.7.03/II: Completamento della sperimentazione del gruppo cerniera-connettore delle paratoie e costruzione della preserie/II Fase", dal "Disciplinare Tecnico" della "Perizia di Variante e Suppletiva", documento MV078C-PE-MMR-1325-C0.

Inoltre per avere una distribuzione uniforme degli anodi sono stati aggiunti alcuni anodi rispetto a quelli calcolati.

Nella tabella seguente viene riportato il numero degli anodi utilizzato per la protezione della paratoia.

Superficie	N. di anodi necessari	Massa netta effettiva (kg)	Tipo di anodo
Esterna	24	415	490x120x50
Interna (escluso fondo)	236	1534	300x80x45
Interna (fondo)	88	827	330x85x45
Totale	348	2776	

Nelle successive tabelle si riporta il calcolo dettagliato per ogni tipo di anodo.



Rev.

Data:

El. MV080P-PE-MAR-2010-C0

Pag. n. 16

Rev. C0

Data: 10/06/2013

PROTEZIONE CATODICA
DIMENSIONAMENTO DEGLI ANODI

		Media (mantenimento)					
		T	15	°C	(Media nell'anno)		
Protezione anticorrosione							
Temperatura dell'acqua	T		15	°C			
Superficie bagnata	Ws		1 952	m ²			
Densità di corrente	i _c		0.055	A/m ²	(Media)		
Durata prevista degli anodi	t		5	Years			
Durata prevista del rivestimento	t		5	Years			
Efficienza elettrochimica	ε		750	A h/Kg	(Efficienza corretta per temperatura dell'anodo)		
Danneggiamento del rivestimento	f _c		0.020		(Iniziale)		
	f _c		0.040		(Medio)		
	f _c		0.060		(Finale)		
Corrente media richiesta	i _c		4.29	A			
Fattore di utilizzo dell'anodo	u		0.8				
Massa netta degli anodi	M		313	Kg	Minimo numero di anodi	n	19

	Iniziale	Finale
Corrente anodica erogata	i _a	i _a
Potenziale a circuito chiuso	E ⁰ _a	E ⁰ _a
Potenziale di protezione	E ⁰ _c	E ⁰ _c
Potenziale effettivo	ΔE ⁰	ΔE ⁰
Resistenza anodica iniziale	R _a	R _a
Resistività dell'acqua	ρ	ρ
Lunghezza dell'anodo	L	L _f
Larghezza dell'anodo	w _a	w _f
Spessore dell'anodo	t _a	t _f
L-W media dell'anodo	S	S _f
Superficie esposta dell'anodo	A	A _f
Resistenza anodica erogata		
Corrente anodica erogata		
Capacità di corrente di un anodo	ca	ca
Capacità di corrente totale	Ca	Ca

	Iniziale	Finale
Corrente anodica erogata	0.458 A	0.381 A
Potenziale a circuito chiuso	-1.05 V	-1.05 V
Potenziale di protezione	-0.90 V	-0.90 V
Potenziale effettivo	0.15 V	0.15 V
Resistenza anodica iniziale	0.33 Ω	0.39 Ω
Resistività dell'acqua	0.20 Ω m	0.20 Ω m
Lunghezza dell'anodo	0.490 m	0.451 m
Larghezza dell'anodo	0.120 m	0.058 m
Spessore dell'anodo	0.050 m	0.029 m
L-W media dell'anodo	0.305 m	0.254 m
Superficie esposta dell'anodo	0.1198 m ²	0.0434 m ²
Resistenza anodica erogata		
Corrente anodica erogata		
Capacità di corrente di un anodo	ca	ca
Capacità di corrente totale	Ca	Ca

	Media	Minimo numero di anodi
Densità di corrente iniziale	i _{c(ini)}	i _{c(fin)}
Richiesta di corrente iniziale	i _c	i _c
Minimo numero di anodi	n	n
Densità di corrente finale	0.070 A/m ²	0.070 A/m ²
Richiesta di corrente finale	3.90 A	8.20 A
Minimo numero di anodi	9	22

Verifica finale		Ca	
n *	i _{c(iniziale)}	n *	i _{c(media)} * t
10.07	>	228 360	>
n *	i _{c(finale)}	n *	i _{c(media)} * t
8.39	>	188 095	>
8.39	>	10.07	>
8.20	>	3.90	>
8.20	>	8.39	>

Numero di anodi	n	22	
Massa totale degli anodi	M	381	Kg
Massa lorda di un anodo	m_g	18.50	Kg
Massa lorda totale	M_g	407	Kg

TAB. 7.1 – QUANTITÀ DI ANODI TIPO AEI

		Media (mantenimento) (Media nell'anno)			
		15 °C	T	Ws	
Protezione anticorrosione		2.830	m ²	0.050	A/m ² (Media)
Superficie bagnata		10	Years	750	A h/Kg (Efficienza corretta per temperatura dell'anodo)
Densità di corrente		0.050	A/m ²		
Durata prevista degli anodi		10	Years		
Durata prevista del rivestimento		40	Years		
Efficienza elettrochimica		750	A h/Kg		
Danneggiamento del rivestimento		0.020	(Iniziale)		
		0.070	(Medio)		
		0.100	(Finale)		
Corrente media richiesta		9.90	A		
Fattore di utilizzo dell'anodo		0.8			
Massa netta degli anodi		M 1.446	Kg	Minimo numero di anodi	n 223
Superficie interna (escluso fondo)					
		Iniziale		Finale	
Potenziale a circuito chiuso	E ⁰ _a -1.05 V	Corrente anodica erogata	I _a 0.285 A	Corrente anodica erogata	I _a 0.240 A
Potenziale di protezione	E ⁰ _c -0.90 V	Potenziale a circuito chiuso	E ⁰ _a -1.05 V	Potenziale a circuito chiuso	E ⁰ _a -1.05 V
Resistività dell'acqua	ρ 0.20 Ω m	Potenziale di protezione	E ⁰ _c -0.90 V	Potenziale di protezione	E ⁰ _c -0.90 V
Lunghezza dell'anodo	L 0.300 m	Potenziale effettivo	ΔE ⁰ 0.15 V	Potenziale effettivo	ΔE ⁰ 0.15 V
Spessore dell'anodo	t _a 0.045 m	Resistenza anodica iniziale	R _a 0.53 Ω	Resistenza anodica finale	R _{aF} 0.62 Ω
Larghezza dell'anodo	w _a 0.080 m	Resistività dell'acqua	ρ 0.20 Ω m	Resistività dell'acqua	ρ 0.20 Ω m
Massa netta dell'anodo	m 6.5 kg	Lunghezza dell'anodo	L 0.300 m	Lunghezza dell'anodo	L _F 0.276 m
Potenziale effettivo	ΔE ⁰ 0.15 V	Larghezza dell'anodo	w _a 0.080 m	Larghezza dell'anodo	w _F 0.045 m
L-W media dell'anodo	S 0.19 m	Spessore dell'anodo	t _a 0.045 m	Spessore dell'anodo	t _F 0.022 m
Superficie esposta dell'anodo	A 0.0582 m ²	L-W media dell'anodo	S 0.190 m	L-W media dell'anodo	S _F 0.160 m
Resistenza anodica iniziale	R _a 0.53 Ω	Superficie esposta dell'anodo	A 0.0582 m ²	Superficie esposta dell'anodo	A _F 0.0209 m ²
Corrente anodica erogata	I _a 0.285 A	Tipo	Lungo	Tipo	Lungo
Capacità di corrente di un anodo	ca 3.900 A h	Densità di corrente iniziale	i _{c(i)} 0.200 A/m ²	Densità di corrente finale	i _{c(f)} 0.200 A/m ²
Capacità di corrente totale	Ca 920.400 A h	Richiesta di corrente iniziale	I _c 11.32 A	Richiesta di corrente finale	I _c 56.59 A
		Minimo numero di anodi	n 40	Minimo numero di anodi	n 236
Numero di anodi		n	236	Ca	> i _{c(media)} * t * 8760
Massa totale degli anodi		M	1.534 Kg	920.400	> 867.550
Massa lorda di un anodo		m _g	7.00 Kg	n * I _a (iniziale)	> I _a (iniziale)
Massa lorda totale		M _g	1.652 Kg	67.26	> 11.32
				n * I _a (finale)	> I _a (finale)
				56.75	> 56.59
Verifica finale					

TAB. 7.2 – QUANTITÀ DI ANODI TIPO A11

		Media (mantenimento)									
		15 °C	(Media nell'anno)								
Protezione anticorrosione	Temperatura dell'acqua	T	15	°C							
	Superficie bagnata	Ws	1 515	m ²							
Superficie Interna (fondo)	Densità di corrente	i _c	0.050	A/m ²	(Media)						
	Durata prevista degli anodi	t	10	Years							
	Durata prevista del rivestimento	t	10	Years							
	Efficienza elettrochimica	ε	750	A h/kg	(Efficienza corretta per temperatura dell'anodo)						
		ε	750	A h/kg							
	Danneggiamento del rivestimento	f _c	0.020		(Iniziale)						
		f _c	0.070		(Medio)						
		f _c	0.100		(Finale)						
	Corrente media richiesta	i _c	5.30	A							
	Fattore di utilizzo dell'anodo	u	0.8								
Massa netta degli anodi		M	774	Kg	Minimo numero di anodi		n	83			
		Iniziale		Finale							
Potenziale a circuito chiuso	E ⁰ _a	-1.05	V	Corrente anodica erogata	i _a	0.493	A	0.432	A		
Potenziale di protezione	E ⁰ _c	-0.90	V	Potenziale a circuito chiuso	E ⁰ _a	-1.05	V	-1.05	V		
Resistività dell'acqua	ρ	0.20	Ω m	Potenziale di protezione	E ⁰ _c	-0.90	V	-0.90	V		
Lunghezza dell'anodo	L	0.530	m	Potenziale effettivo	ΔE ⁰	0.15	V	0.15	V		
Spessore dell'anodo	t _a	0.045	m	Resistenza anodica iniziale	R _a	0.30	Ω	0.35	Ω		
Larghezza dell'anodo	w _a	0.085	m	Resistività dell'acqua	ρ	0.20	Ω m	0.20	Ω m		
Massa netta dell'anodo	m	9.4	kg	Lunghezza dell'anodo	L	0.330	m	0.304	m		
Potenziale effettivo	ΔE ⁰	0.15	V	Larghezza dell'anodo	w _a	0.085	m				
Diametro equivalente	D	0.041	m	Spessore dell'anodo	t _a	0.045	m				
Resistenza anodica iniziale	R _a	0.30	Ω								
Corrente anodica erogata	i _a	0.493	A								
Capacità di corrente di un anodo	ca	5 640	A h	Tipo		Corto		Lungo			
Capacità di corrente totale	Ca	468 120	A h	Densità di corrente iniziale	i _{c(m)}	0.200	A/m ²	Densità di corrente finale	i _{c(fin)}	0.200	A/m ²
				Richiesta di corrente iniziale	i _c	6.06	A	Richiesta di corrente finale	i _c	30.31	A
				Minimo numero di anodi	n	13		Minimo numero di anodi	n	71	
Numero di anodi		n	83	Verifica finale							
Massa totale degli anodi		M	780					Ca	>	i _{c(media)} * t * 8760	
								468 120	>	464 627	
Massa lorda di un anodo		m_g	10.00					n * i _a (iniziale)	>	i _c (iniziale)	
Massa lorda totale		M_g	830					40.90	>	6.06	
								n * i _a (finale)	>	i _c (finale)	
								35.85	>	30.31	

TAB. 7.3 – QUANTITÀ DI ANODI TIPO AI2