



PROGETTO NEMO
ALLEGATO TECNICO: MATERIALI

Data creazione 25-10-2001 15:29
Pagina 1 di 13
ALL-Materiali-Rev-A.doc
Rev:A

ALLEGATO TECNICO

I MATERIALI

Rev	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato	Data
A	Divulgazione interna	R.Papaleo			

	PROGETTO NEMO ALLEGATO TECNICO: MATERIALI	Data creazione 25-10-2001 15:29 Pagina 2 di 13 ALL-Materiali-Rev-A.doc Rev:A
---	---	--

1.1 SCELTA DEI MATERIALI

1.1.1 Introduzione

Una notevole attività di Ricerca & Sviluppo è stata effettuata, soprattutto nell'ultimo anno, per determinare quale fossero le caratteristiche chimiche e meccaniche dei materiali da utilizzare per la realizzazione del laboratorio sottomarino.

In questa attività di R&D si sono tenuti in considerazione alcuni parametri fondamentali come:

- la necessità del laboratorio sottomarino di avere una **elevata vita utile**, imposta almeno in un primo momento in un periodo temporale di almeno 10 anni, questo per ridurre al minimo, almeno nei primi anni di gestione della struttura, i costi di manutenzione e sostituzione degli apparati,
- **L'aggressività dell'ambiente** in cui verrà installato il laboratorio sottomarino
- La necessità di realizzare strutture con **basso impatto ambientale**.

Lo studio di fattibilità effettuato dal gruppo ENI (SASP e SONSUB) per conto dell'INFN, una approfondita collaborazione con il SACLANT (NATO), un centro ad alta tecnologia per la ricerca e lo sviluppo di tecnologie da applicare in ambienti marini, ed una intensa attività di ricerca tramite contatti con aziende nazionali ed internazionali ha permesso di effettuare un'analisi critica estremamente utile per la scelta dei materiali da applicare nella realizzazione delle strutture e dei componenti meccanici del laboratorio sottomarino.

	PROGETTO NEMO ALLEGATO TECNICO: MATERIALI	Data creazione 25-10-2001 15:29 Pagina 3 di 13 ALL-Materiali-Rev-A.doc Rev:A
---	---	--

La soluzione che teneva in considerazione l'utilizzo dell'acciaio per la realizzazione delle strutture meccaniche è stata scartata dal momento che non garantiva le specifiche minime di vita utile delle strutture a meno di utilizzare delle soluzioni tecniche particolari per la riduzione dei fenomeni corrosivi come la protezione catodica.

Questa soluzione implicava l'utilizzo di una notevole quantità di anodi di zinco o di leghe particolari è stata scartata per diversi motivi:

1. Necessità di sostituire gli anodi periodicamente con conseguenti aumenti dei costi di manutenzione della struttura;
2. Aumento del peso e delle dimensioni della struttura dovuti alla presenza degli anodi;
3. Difficoltà a realizzare una protezione catodica che garantisca la vita utile richiesta.

Per tale motivo, l'analisi e la ricerca sui materiali ha portato alla scelta di due soluzioni possibili ed attuabili sia dal punto di vista della realizzazione tecnica che dal punto di vista della fattibilità economica, i materiali prescelti sono:

- **Titanio**
- **Vetroresina**

Il titanio sarà sicuramente utilizzato per realizzare tutti i contenitori dell'elettronica presenti nel dispositivo dal momento che è l'unico materiale, in particolare il grado 5, in grado di garantire la realizzabilità degli oggetti con dimensioni ragionevoli e costi non eccessivamente elevati.

La soluzione vetroresina potrà invece essere applicata alle strutture portanti delle soluzioni a torre.



PROGETTO NEMO
ALLEGATO TECNICO: MATERIALI

Data creazione 25-10-2001 15:29
Pagina 4 di 13
ALL-Materiali-Rev-A.doc
Rev:A

	PROGETTO NEMO ALLEGATO TECNICO: MATERIALI	Data creazione 25-10-2001 15:29 Pagina 5 di 13 ALL-Materiali-Rev-A.doc Rev:A
---	---	--

IL TITANIO

Il Titanio è un materiale fortemente resistente all'acqua di mare, le sue caratteristiche chimiche e meccaniche gli permettono di resistere per lungo tempo alla corrosione in ambienti marini anche ad alte temperature (260°C). Esistono esempi di tubi di titanio, immersi per più di 16 anni in acqua di mare che non presentavano assolutamente segni di evidente corrosione. L'utilizzo del titanio in applicazioni marine, per queste ragioni è oramai consolidato a livello internazionale. Nelle tabelle sottostanti sono indicati i livelli di corrosione e di erosione del titanio e di alcune sue leghe immersi in ambiente marino.

Tabella 1: Corrosione del titanio in ambiente marino

Lega	Profondità ft(m)	Livello di corrosione mpy(mm/y)
Titanio Puro	Shallow	3.15×10^{-5} (0.8×10^{-6})
	2,362-6,790 (720-2070)	<0.010 (<0.00025)
	4,264-4,494 (1300-1370)	<0.010 (<0.00025)
	5-6,790 (1.5-2070)	(0.0)
	5,642 (1720)	0.002 (0.00004)
Ti6-4	5-6,790 (1.5-2070)	<0.010 (<0.00025)
	5,642 (1720)	3.15×10^{-5} (8×10^{-6})
	5,642 (1720)	≤ 0.039 (≤ 0.001)

	PROGETTO NEMO ALLEGATO TECNICO: MATERIALI	Data creazione 25-10-2001 15:29 Pagina 6 di 13 ALL-Materiali-Rev-A.doc Rev:A
---	---	--

**Nota: i dati della tabella sono prelevati da diverse fonti – è da ritenersi significativa
la media dei valori**

	PROGETTO NEMO ALLEGATO TECNICO: MATERIALI	Data creazione 25-10-2001 15:29 Pagina 7 di 13 ALL-Materiali-Rev-A.doc Rev:A
---	---	--

Tabella 2: Effetto della velocità dell'acqua sull'erosione del titanio puro e grado 5

Velocità dell'acqua ft/sec(m/sec)	Erosione- mpy(mm/y)	
	Titanio puro	TI 6-4
0-2 (0-0.61)	Nil	-----
25 (7.6)	Nil	-----
120 (36.6)	0.3 (0.008)	0.4 (0.010)

Tabella 3: Erosione del Titanio in funzione della località

Luogo	Velocità acqua ft/sec(m/sec)	Durata Mesi	Corrosione- mpy (mm/y)		
			TI grade 2	70 Cu-30 Ni*	Alluminio
Mare di Brixham	32.2 (9.8)	12	<0.098 (<0.0025)	11.8 (0.3)	39.4 (1.0**)
Spiaggia di Kure	3.3 (1)	54	3×10^{-5} (0.75×10^{-6})	-----	-----
	27.9 (8.5)	2	4.9×10^{-3} (0.000125)	1.9 (0.048)	-----
	29.5 (9)	2	1.1×10^{-2} (0.000275)	81.1 (2.06)	-----
	23.6 (7.2 [Plus Air])	1	0.020 (0.0005)	4.7 (0.12)	-----
Spiaggia di Wrightsville	2.0-4.3(0.6-1.3)	6	0.004 (0.0001)	0.9 (0.022)	-----
	29.5 (9)	2	0.007 (0.000175)	-----	-----
Mare Mediterraneo	23.6 (7.2 [Plus Air])	0.5	0.5 mg/day	8.9 mg/day	19.3 mg/day
Mar Morto	23.6 (7.2 [Plus Air])	0.5	0.2 mg/day	9 mg/day	6.7 mg/day

*High iron 70-30 cupro-nickel. **Sample perforated.

	PROGETTO NEMO ALLEGATO TECNICO: MATERIALI	Data creazione 25-10-2001 15:29 Pagina 8 di 13 ALL-Materiali-Rev-A.doc Rev:A
---	---	--

In commercio il Titanio si trova come:

- **Titanio puro;**
- **Leghe di titanio**

La differenza oltre che dal punto di vista della composizione chimica consiste anche in una differenza delle caratteristiche di resistenza meccaniche.

Nella tabella sottostante sono analizzati i vari tipi di Titanio:

ASTM Grado	Ultimate Tensile Strength (min.)	Yield Strength (min.) 0.2% Offset	Composizione
1	35,000 psi	25,000 psi	C.P Titanium*
2	50,000 psi	40,000 psi	C.P Titanium*
3	65,000 psi	55,000 psi	C.P Titanium*
4	80,000 psi	70,000 psi	C.P Titanium*
5	130,000 psi	120,000 psi	6% Al, 4% V
7	50,000 psi	40,000 psi	Grade 2+0.15% Pd
9	90,000 psi	75,000 psi	3.0% Al, 2.5% V
11	35,000 psi	25,000 psi	Grade 1+0.15% Pd
12	70,000 psi	50,000 psi	0.3% Mo, 0.8% Ni
16	50,000 psi	40,000 psi	Grade 2+0.05% Pd
17	35,000 psi	25,000 psi	Grade 1+0.05% Pd
18	90,000 psi	75,000 psi	Grade 9+0.05% Pd

***Titanio Puro Commerciale**

	PROGETTO NEMO ALLEGATO TECNICO: MATERIALI	Data creazione 25-10-2001 15:29 Pagina 9 di 13 ALL-Materiali-Rev-A.doc Rev:A
---	---	--

Per quanto riguarda le applicazioni e le caratteristiche richieste nel progetto NEMO, dopo un'attenta analisi delle caratteristiche chimico – meccaniche delle varie leghe, della disponibilità di mercato del prodotto, delle difficoltà di lavorazione del materiale e dei costi di approvvigionamento e di lavorazione sono state presi in considerazione :

- **Titanio grade 2**
- **Titanio grade 5**

Il primo verrà utilizzato per la realizzazione di quei componenti meccanici che non saranno soggetti ad eccessivi stress di natura meccanica, mentre la lega di Titanio grade 5, utilizzata anche in molte applicazioni nel campo aeronautico, verrà utilizzata per la realizzazione di componenti speciali come i contenitori dell'elettronica, le junction box, le branching unit (scatole di derivazione del cavo elettro ottico principale proveniente da terra) e di quella parte delle strutture meccaniche che risulterà fortemente sollecitata durante la sua vita operativa in mare.

1.1.2 La vetroresina

La vetroresina è un materiale estremamente resistente nelle applicazioni in ambiente marino.

In particolare forte interesse ha destato la realizzazione di tubi mediante un procedimento denominato "Filament Winding" (avvolgimento di fibre).

Il procedimento costruttivo consiste nell'applicazione in continuo su uno speciale mandrino delle materie prime fino a raggiungere lo spessore previsto dalle specifiche di progetto.

Il tubo così realizzato ha una struttura monolitica costituita da vari strati, perfettamente aderenti l'uno all'altro, ciascuno aventi caratteristiche e proprietà differenti, in relazione alle funzioni da espletare.



Figura 1: Materiali utilizzati per la realizzazione del tubo

Detti strati sono:

Liner o strato chimico resistente

Il contenuto di vetro "C" in questo strato conferisce elevate proprietà chimico-resistenti

Strato meccanico resistente

Questo strato garantisce la resistenza meccanica alle sollecitazioni di pressione interna ed esterna, di flessione, ecc.

In dipendenza del progetto strutturale questa parete può avere un elevato contenuto di fibre di rinforzo vetroso.

Gel Coat o strato esterno

Questo strato garantisce la completa impregnazione delle fibre di vetro periferiche, esso inoltre è sempre additivato con agenti inibitori contro l'azione di raggi ultravioletti.

	PROGETTO NEMO ALLEGATO TECNICO: MATERIALI	Data creazione 25-10-2001 15:29 Pagina 11 di 13 ALL-Materiali-Rev-A.doc Rev:A
---	---	---

I sistemi così realizzati sono immuni all'interno a tutti gli attacchi chimici di effluenti industriali e all'esterno da tutte le condizioni corrosive ambientali (fenomeni elettrolitici, acqua di mare, ..)

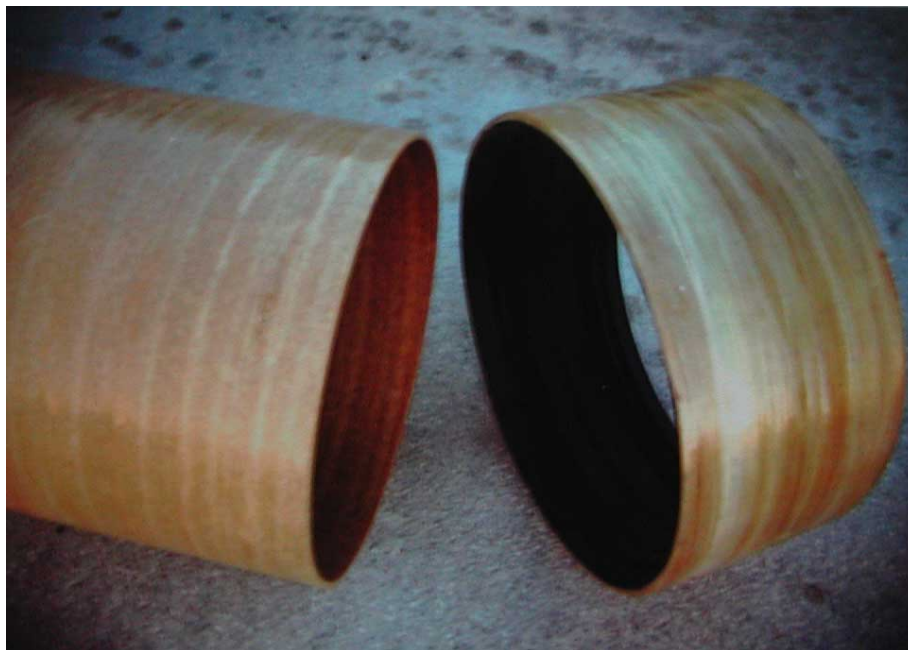


Figura 2: Particolare di un tubo

La vita media dei sistemi realizzati in questo modo è fissata a 60 anni e può essere usato a temperature che vanno da -40°C a $+120^{\circ}\text{C}$ secondo le tipologie di resine usate.

Le applicazioni in ambiente marino del sistema non richiedono di rivestimenti protettivi o protezioni catodiche, quindi elimina ogni costo di manutenzione di tali sistemi di protezione

	PROGETTO NEMO ALLEGATO TECNICO: MATERIALI	Data creazione 25-10-2001 15:29 Pagina 12 di 13 ALL-Materiali-Rev-A.doc Rev:A
---	---	---

Tabella 4: Proprietà fisiche

Descrizione	Modello		
	Gravity Flow	PN6	PN10
Resistenza a trazione Circonferenziale (Mpa) Assiale (Mpa)	60 40	200 40	400 40
Resistenza a flessione circonferenziale (Mpa)	140	250	500
Modulo elastico a flessione circonferenziale (Mpa)	9000	15000	30000
Conducibilità di dilatazione termica assiale (m/m °C)	2.5 x 10 ⁻⁵		
Conducibilità termica (Kcal/Kg °C)	0.25		
Calore specifico (Kcal/Kg °C)	0.30		
Peso specifico	1.7-1.8		

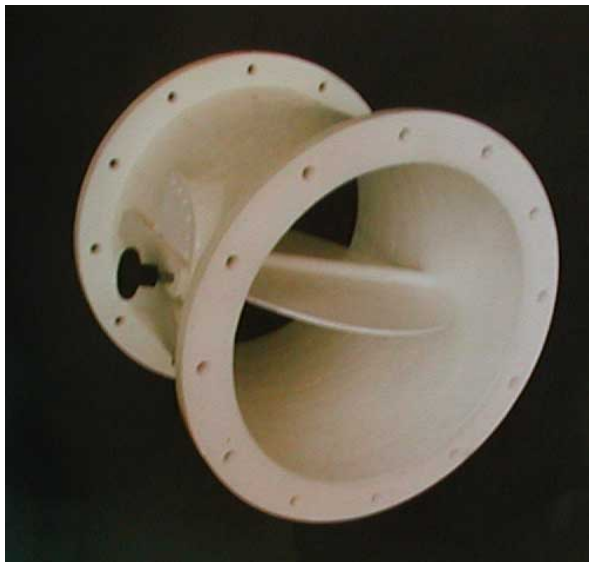


Figura 3: Esempio di connessione per tubi flangiati



Figura 4: Esempio di connessione per tubi flangiati