

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA

**SECONDA FACOLTA' DI INGEGNERIA
CON SEDE A CESENA**

**CORSO DI LAUREA
IN INGEGNERIA MECCANICA
Classe: L-9**

Sede di Forlì

ELABORATO FINALE DI LAUREA

In: IMPIANTI INDUSTRIALI MECCANICI L

**Progettazione di impianti per la produzione di energia
da fonti rinnovabili per imbarcazione da diporto
ITAMA 75**

CANDIDATO

Mattia Quadrelli

RELATORE

Augusto Bianchini

**Anno Accademico 2011-2012
Sessione I**

1 INTRODUZIONE

1.1 Premessa, pag.5

1.2 Ferretti ed A.Y.T., pag.6

2 ITAMA 75

2.1 Itama75, pag.11

3 IMPIANTO TECNICO

3.1 Premessa, pag.15

3.2 Impianto sentina, pag.15

- Imposizioni legislative, pag.16
- Componenti, pag.20
- Funzionamento impianto sentina, pag.30
- Considerazioni finali, pag.31

3.3 Impianto acque nere e grigie, pag.32

- Imposizioni legislative, pag.33
- Componenti, pag.34
- Funzionamento, pag.40

**4 INTRODUZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO:
FUNZIONAMENTO E SCHEMA**

4.1 Premessa, pag.45

4.2 Principio di funzionamento celle, pag.47

4.3 Schema impianto, pag.52

5 STRUTTURA ED ASSEMBLAGGIO CELLE

5.1 Struttura, pag.57

5.2 Funzionamento pannelli, pag.58

5.3 Assemblaggio, pag.60

6 GENERALITA' COMPONENTI IMPIANTO FOTOVOLTAICO

6.1 I Pannelli, pag.65

6.1.1 Tipologie, pag.66

6.2 Il regolatore di carica, pag.76

6.3 Banco batterie, pag.78

7 PROGETTAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO

7.1 Premessa, pag.81

7.2 Calcolo utenze, pag.84

7.3 Calcolo pannelli, pag.87

- Procedimento, pag.89

7.4 Scelta dei componenti, pag.93

- Scelta pannelli fotovoltaici, pag.93

- Scelta banco batterie, pag.95

- Scelta regolatore di carica, pag.96

8 VALUTAZIONE ECONOMICA INVESTIMENTO

8.1 Premessa, pag.99

8.2 Valutazione, pag.101

9 CONCLUSIONI

9.1 Conclusioni, pag.111

10 RINGRAZIAMENTI pag.113

11 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI pag.115

12 APENDICI pag.117

CAPITOLO PRIMO

Introduzione

INTRODUZIONE

1.1 Premessa

Durante lo stage di tirocinio, intrapreso nella carriera di studi e svolto presso la **Ferretti S.p.a.** (azienda leader nel settore nautico per la produzione di imbarcazioni da diporto), si è presentata l'opportunità di affiancare i progettisti degli impianti tecnici di bordo delle varie imbarcazioni in produzione, imparando la metodologia seguita per la realizzazione degli stessi.

Con la presente relazione, svincolata dalla attività di tirocinio svolta, in accordo con il relatore, si intende realizzare uno studio riguardante la progettazione di un impianto dedicato alla produzione di energia da fonti rinnovabili per l'imbarcazione da diporto ITAMA75 (**Figura 1.1-1**), prodotta da Ferretti S.p.a., sfruttando la possibilità di uno scambio di informazioni con l'azienda.



(Figura 1.1-1)

In particolare si tratterà riguardo un impianto **fotovoltaico**, mai realizzato prima per questo tipo di imbarcazione.

Verranno, però, introdotte anche alcune considerazioni riguardanti la realizzazione di alcuni impianti tecnici quali sentina, acque nere e acque

INTRODUZIONE

grigie, come esempio dell'attività svolta presso l'azienda Ferretti e da cui è nata l'idea della presente.

1.2 Ferretti ed A.Y.T.

Come già detto, l'opportunità di realizzare impianti su barche da diporto si è presentata grazie al tirocinio curricolare, svolto attraverso l'università.

Tale tirocinio, realizzato nei mesi di Ottobre, Novembre e Dicembre del 2011, è stato svolto presso la Ferretti S.p.a.

Il gruppo Ferretti, fondato da Norberto Ferretti nel 1968, è all'avanguardia nella nautica, grazie alla costante innovazione di prodotto, di processo e alla continua ricerca in campo tecnologico per una maggiore qualità, eccellenza, prestazioni e design del marchio che hanno portato il gruppo ai vertici della nautica mondiale.

Le imbarcazioni di lusso sono progettate da un team di circa 90 persone, tra progettisti e tecnici specializzati (Advanced Yacht Technology, uffici presso cui ho svolto il tirocinio), e prodotte nei 25 stabilimenti del Gruppo.

Il marchio, conosciuto un po' in tutto il mondo, è presente anche in Asia, attraverso un ufficio di rappresentanza e promozione a Shanghai, e nel continente americano. Un network esclusivo di circa 85 dealer altamente selezionati garantiscono al Gruppo una presenza in oltre 80 Paesi e alla clientela i più elevati livelli di assistenza nelle marine di tutto il mondo.

Il Gruppo Ferretti ha al centro della propria strategia la continua innovazione e il costante miglioramento delle performance dei propri prodotti. Per questo motivo nel 1989 ha creato la Divisione Engineering, pensata come centro specializzato, dotato di tecnologie all'avanguardia e unico nel panorama nautico, non solo italiano.

CAPITOLO PRIMO

Dopo quasi 20 anni, tale Divisione Engineering, rinominata nel 2006 AYT (Advanced Yacht Technology), la cui sede è riportata in figura 1.1.1, si presenta come uno dei centri di ricerca e progettazione navale più avanzati al mondo, alla continua ricerca di soluzioni innovative di prodotto e di processo volte al raggiungimento dell'eccellenza e della massima affidabilità.

AYT (**Figura 1.2-1**) è una squadra unica e compatta organizzata per piattaforme di competenza, ognuna delle quali dedicata ad un aspetto specifico di progettazione. E' inoltre un network di competenze altamente specializzato che sostiene, consolida e sviluppa l'intero Gruppo e che lavora in stretta collaborazione con le aziende partner di tecnologia, sviluppando sistemi sempre più innovativi, personalizzati ed esclusivi.

In un settore dove la tecnologia è un "must", l'eccellenza tecnologica del Gruppo Ferretti nasce proprio da qui.



(Figura 1.2-1 Sede A.Y.T.)

INTRODUZIONE

CAPITOLO SECONDO

Itama 75

2.1 *Itama 75*

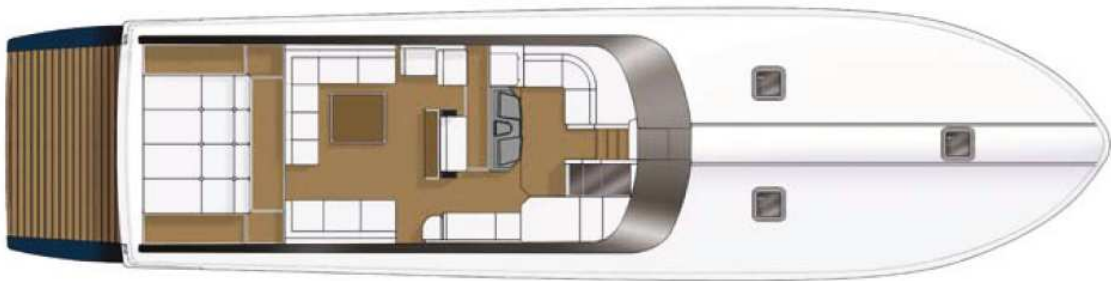


(Figura 2.1-1)

Lo yacht Itama 75 (Figura 2.1-1 e 2.1-2) si presta ad essere utilizzato sui grandi laghi così come per brevi navigazioni costiere.

Le elevate performance e tenuta del mare, insieme agli ampi spazi, sono i tradizionali punti di forza del marchio che, soprattutto nell'Itama Seventyfive, sono pensati per rendere più confortevole ed ospitale la permanenza a bordo e favorire i momenti di condivisione, caratteristiche rilevanti nella cultura nautica delle barche da diporto.

A questo contribuiscono tutta una serie di dettagli innovativi come lo schermo posizionato nel pozzetto, il blocco frigo con un'ampiezza consistente o ancora la possibilità di avere l'icemaker in pozzetto.



(Figura 2.1-2)

ITAMA 75

Di seguito viene riportata una lista riassuntiva (**Figura 2.1-3**) delle caratteristiche dell'imbarcazione ITAMA 75:

LOA = LUNGHEZZA FUORI TUTTO - LENGTH OVERALL	23,54 M - 77 FT 3 IN
LH = LUNGHEZZA DI COSTRUZIONE - LENGTH HULL	21,53 M - 70 FT 8 IN
HT MASSIMA = ALTEZZA DI COSTRUZIONE DALLA CHIGLIA ALL'AVANT TOP MAXIMUM HEIGHT FROM HULL BOTTOM TO AVANT TOP	5,60 M - 18 FT 1 IN
HT TRASPORTO = ALTEZZA MINIMA PER IL TRASPORTO DAI BRACCETTI ALL'AVANT TOP MINIMUM TRANSPORT HEIGHT	5,54 M - 18 FT 2 IN
LARGHEZZA MASSIMA - MAXIMUM BEAM	5,92 M - 19 FT 5 IN
IMMERSIONE A PIENO CARICO - DRAFT (BOAT FULLY LADEN)	1,44 M - 4 FT 9 IN
DISLOCAMENTO AD IMBARCAZIONE SCARICA E ASCIUTTA (CON EQUIPAGGIAMENTO STANDARD) DISPLACEMENT, UNLADEN (WITH STANDARD EQUIPMENT)	44,50 T - 98.106 LB
DISLOCAMENTO A PIENO CARICO (CON EQUIPAGGIAMENTO STANDARD) DISPLACEMENT LADEN (WITH STANDARD EQUIPMENT)	52,20 T - 115.081 LB
CAPACITÀ SERBATOI CARBURANTE - FUEL CAPACITY	5.500 L - 1.453 US GAL
CAPACITÀ SERBATOI ACQUA - WATER CAPACITY	1.000 L - 264 US GAL
MOTORI - ENGINES	2 X 1.823 MHP - 1.340 KW C.R. MTU
PROPULSIONE - PROPULSION	ELICHE DI SUPERFICIE / SURFACE DRIVES
VELOCITÀ MAX A DISLOCAMENTO LEGGERO = 1/3 DEL CARICO LIGHT DISPLACEMENT MAXIMUM SPEED = 1/3 LADEN ⁽²⁾	42 NODI CIRCA - 42 KNOTS APPROX.
CABINE - CABINS	3 D/DR 4
SERVIZI - SERVICES	3 D/DR 4
CABINA EQUIPAGGIO CON SERVIZIO - CREW CABIN WITH HEAD	1
DOTAZIONI DI SICUREZZA - SAFETY EQUIPMENT ⁽²⁾	12
NUMERO MASSIMO DI PERSONE IMBARCABILI - MAXIMUM NUMBER OF PEOPLE ON BOARD	16
CATEGORIA OMOLOGAZIONE - HOMOLOGATION	CE 2003/44 "A"

(Figura 2.1-3)

Passeremo ora allo studio di alcuni impianti tecnici generici presenti sull'imbarcazione per poi passare, in maniera più approfondita, al fotovoltaico, oggetto di interesse della relazione.

CAPITOLO TERZO

IMPIANTO TECNICO

IMPIANTO TECNICO

3.1 Premessa

Non entreremo nei particolari della progettazione di impianti tecnici generici, non facendo questi parte dello studio intrapreso, ma ne esporremo l'utilità, le caratteristiche principali e le modalità di funzionamento, in modo che sia comprensibile che cosa si intende, in riferimento alle barche da diporto, con la definizione "impianti tecnici". Affinché un'imbarcazione possa essere autorizzata ad essere usata allo scopo per cui è concepita, deve essere costruita, e quindi progettata, in conformità a regolamenti e criteri previsti da enti preposti alla verifica e al controllo, come ad esempio R.I.Na. (Registro Italiano Navale). Per cui, la realizzazione degli impianti è spesso legata ad imposizioni legislative.

3.2 Impianto sentina

Molto importanti sono gli impianti di sentina, fondamentali per il buon funzionamento di una imbarcazione e di cui andremo ora a spiegare la meccanica e l'importanza.

Con sentina si indicano quelle zone sul fondo dello scafo, solitamente difficilmente accessibili a causa della presenza di macchinari e strutture (quali tubazioni, motori ecc.), in cui si accumulano acqua e liquami vari che possono produrre male odori e/o arrivare a sommergere gli impianti, causandone un malfunzionamento o l'arresto.

L'acqua può entrare a bordo a causa di trafileggi nelle guarnizioni dei passascafo, per la pioggia o anche per perdite nell'impianto di aspirazione a mare.

I liquami sono dovuti principalmente all'apparato motore, questo può perdere olio o combustibile che andrà a colare verso il fondo, diventando putrescente e producendo, appunto, dei male odori.

IMPIANTO TECNICO

È ovvio notare che se negli ambienti si accumula una rilevante quantità di liquido, la barca potrebbe anche affondare, soprattutto se si crea una piccola falla nello scafo dalla quale entra acqua di mare.

È evidente come, nello studio degli impianti, particolare importanza rivestono quelli di sentina, il cui scopo è proprio quello di evitare l'allagamento dell'imbarcazione, evacuando fuori bordo i fluidi attraverso una pompa detta, appunto, "di sentina" che va ad aspirare da pozzetti appositamente progettati, dislocati nei vari compartimenti.

Imposizioni legislative

A seconda della zona in cui l'imbarcazione naviga, la sua omologazione deve sottostare a leggi e norme imposte da enti preposti, riconosciuti a livello internazionale.

In Italia, l'ente per la classificazione e certificazione di navi è il R.I.Na. (Registro Italiano Navale).

Esso funge da supporto tecnologico durante la fase di progettazione, costruzione e assistenza tecnica della nave con l'obiettivo di assicurare ad armatori e cantieri il raggiungimento di elevati standard di qualità e sicurezza.

Ferretti, realizzando un prodotto altamente artigianale dedicato ad una clientela abbastanza ristretta, è in grado di soddisfare, oltre alle richieste di ogni singolo acquirente, le restrittive legislazioni R.I.Na. ed M.C.I., in modo da poter garantire un prodotto finito di qualità e mantenere un elevato prestigio del marchio.

Non tutte le tipologie di impianto sono normate.

Le leggi utili allo studio di un efficiente impianto sentina sono le seguenti:

- UNI EN ISO 15083 del 2004, impianti di pompaggio di sentina per unità di piccole dimensioni;
- UNI EN ISO 8849 del 2004, pompe di sentina azionate elettricamente a corrente continua per unità di piccole dimensioni;

CAPITOLO TERZO

- UNI EN ISO 9093 del 1998, valvole a scafo e passascafi in costruzione metallica per unità di piccole dimensioni.

Nel particolare caso preso in esame dell'impianto sentine, la legislazione R.I.Na. cataloga le imbarcazioni secondo le categorie A, B, C e D (UNI EN ISO 15083 del 2004), descrivendone i requisiti.

L'imbarcazione ITAMA 75 da noi presa in considerazione fa parte della categoria A, dove la posizione di governo principale è esposta, cioè destinata a essere utilizzata in condizioni di cattivo tempo, priva di protezioni rigide o flessibili sulla parete superiore e su almeno tre lati, e il carico idrostatico nella tubazione di mandata è maggiore o uguale a 1,5 metri.

Per questo tipo di imbarcazioni la UNI EN ISO 15083 impone varie regole.

Quelle che a noi interessano sono:

- presenza, per ogni ambiente di interesse, una pompa “principale” (carico idrostatico maggiore o uguale a 1,5 metri) manuale, meccanica o elettrica e una “secondaria” manuale o meccanica o elettrica;
- una capacità, per ogni pompa di sentina, non minore di 30 litri/minuto, avendo l'imbarcazione uno scafo di lunghezza superiore ai 12 metri;
- divieto di scaricare in un pozzetto, a meno che questo non si apra a poppa sul mare;
- accessibilità alla zona in cui vengono montate, per facilitare la manutenzione e la pulizia della presa;

IMPIANTO TECNICO

- gli scarichi nello scafo al di sopra della linea di galleggiamento inclinata massima, cioè quando il livello dell'acqua sullo scafo quando questo è inclinato ad un angolo di inclinazione trasversale di 7° , a meno che non sia installata una valvola a scafo in conformità alla ISO 9093 e non sia presente un mezzo per impedire il riflusso nell'imbarcazione;
- dove più pompe scaricano attraverso un solo passascafo comune, l'impianto deve essere progettato in modo tale che l'azionamento di una pompa non causi un ritorno in un'altra pompa e l'azionamento simultaneo delle pompe non riduca la capacità di pompaggio dell'impianto;
- i motori delle pompe di sentina non sommerse devono essere posizionati sopra il livello critico dell'acqua di sentina, cioè il livello in cui l'acqua di sentina entra in contatto con serbatoi metallici del combustibile, accoppiamenti, propulsori, macchinario non sommerso o circuiti elettrici e connessioni non stagni nella posizione di galleggiamento statico o durante il funzionamento abituale;
- le pompe di sentina con comandi automatici devono essere provviste di un interruttore manuale dell'alimentazione elettrica facilmente accessibile per attivare la pompa.

La UNI EN ISO 8849, esclusivamente dedicata alla tipologia di pompa, impone che, oltre alla necessità che le prestazioni siano indicate sulla struttura della pompa stessa:

- le pompe sommergibili debbano essere provviste di un filtro o di altri mezzi per impedire che i detriti entrino nella presa della pompa. I filtri e gli schermi della presa devono essere progettati in maniera tale da poter essere puliti;

CAPITOLO TERZO

- le pompe sommergibili abbiano collegamenti elettrici a tenuta stagna, IP56 in conformità alla IEC 60529. Raccomanda l'utilizzo di un cavo elettrico a tenuta stagna, collegato ermeticamente alla pompa in modo da poter effettuare i collegamenti dell'alimentazione elettrica al di sopra del normale livello dell'acqua di sentina;
- le pompe di sentina progettate per il funzionamento automatico devono essere provviste di un interruttore di commutazione per consentire il funzionamento manuale in caso di guasto del funzionamento automatico.

Una volta che si è a conoscenza delle imposizioni legislative si passa alla scelta dei componenti.

Componenti

Premessa

Come è possibile evincere dalle successive considerazioni, si è deciso di sovradimensionare l'impianto in modo che sia assicurata la conformità alla legislazione, sia dal punto della sicurezza che da quello dell'efficienza, puntando ad ottenere un prodotto finito di elevata efficacia e funzionalità.

La nave, per quanto riguarda la zona sentina, è suddivisa in due ambienti:

- la **sala macchine**: stagna rispetto a tutti gli altri ambienti, nella quale vengono stivati la maggior parte dei macchinari;
- la **prua**: comprende tutta quella parte che non rientra nella sala macchine.

Tra le due, il rischio maggiore di allagamento e/o accumulo di fluidi stagnanti lo corre la sala macchine.

Questo perché vi sono stivate la maggior parte dei macchinari (dai motori al generatore, dalle batterie al desalinizzatore), causa principale dell'accumulo di olio ed altri lubrificanti, nonché le prese d'aria per i motori ed i passascafi, che possono portare ad una infiltrazione di acqua nella barca.

Nella parte rimanente della sentina, invece, abbiamo una maggiore area da ricoprire ma minori possibilità di infiltrazione.

Le tipologie di pompe sentina previste sono:

1. pompa principale **MARCO UP2000** sommersa

CAPITOLO TERZO

2. polivalente **Gianneschi CP30** con collettore che aspira dalle “succhiarole”
3. pompa di prosciugamento **Jabsco Puppy2000**

Ad ogni modo, invece di posizionare come richiesto dal **R.I.Na.** una sola pompa principale automatica e una sola secondaria manuale (come precedentemente esposto nel paragrafo legislazione), lo studio tecnico opta per l’installazione dei seguenti componenti:

- sentina **sala macchine** → due pompe principali **MARCO UP2000** sommerse, di cui una munita di galleggiante automatico e l'altra manuale, una pompa **Gianneschi CP30** con tre “succhiarole” e una aspirazione di prosciugamento realizzata da una **Jabsco Puppy2000** ;
- sentina **prua** → due pompe principali automatiche **MARCO UP2000** sommerse, due **Gianneschi CP30** collegate a due succhiarole e una aspirazione di prosciugamento **Jabsco Puppy2000**.

Di seguito andremo a riportare alcune caratteristiche riguardanti tali componenti.

Pompa principale

Come pompa principale si è scelto una MARCO UP 2000 (**Figura 3.2-1**):



(Figura3.2-1)

Prodotta dalla **Marco Spa**, fabbrica presso cui l'azienda già si rifornisce, Elettropompe ad immersione per svuotamento sentina.

Involucro in robusto ABS antiurto, resistente alla corrosione ed alla elettrolisi.

Di seguito sono riportate in **Tabella 3.2-1** le caratteristiche della MARCO UP2000:

CAPITOLO TERZO

TIPO TYPE	CODICE PART NUMBER	VOLTS	PREVALENZA LIFT	BOCCHIE PORTS	PORTATA FLOW RATE	CONSUMO CONSUMPTION	FUSIBILE FUSE	DIMENSIONI DIMENSIONS mm	Pcs. x carton
UP500	160 100 12	12	4m 13 ft.	19 mm 3/4"	32 l/min 500 gph	2,5A	5A	94,5 x Ø59	24
UP500	160 100 13	24	4m 13 ft.	19 mm 3/4"	32 l/min 500 gph	1,2A	3A	94,5 x Ø59	24
UP1000	160 120 12	12	4m 13 ft.	28,6 mm 1-1/8"	63 l/min 1000 gph	4A	10A	124,7 x Ø78	12
UP1000	160 120 13	24	4m 13 ft.	28,6 mm 1-1/8"	63 l/min 1000 gph	2A	5A	124,7 x Ø78	12
UP1500	160 140 12	12	4m 13 ft.	26,5 mm 1-1/16"	95 l/min 1500 gph	10A	20A	160 x Ø96	6
UP1500	160 140 13	24	4m 13 ft.	26,5 mm 1-1/16"	95 l/min 1500 gph	5A	10A	160 x Ø96	6
UP2000	160 160 12	12	4m 13 ft.	31,8 mm 1-1/4"	126 l/min 2000 gph	12A	25A	200 x Ø96	6
UP2000	160 160 13	24	4m 13 ft.	31,8 mm 1-1/4"	126 l/min 2000 gph	6A	15A	200 x Ø96	6
UP3700	160 180 13	24	5m 16ft.	38 mm 1-1/2"	233 l/min 3700 gph	6A	10A	202 x Ø110	1

(Tabella 3.2-1)

Si può così osservare come tale pompa, scelta per l'aspirazione principale, soddisfi ampiamente le direttive **R.I.Na.** avendo una portata di:

$$Q = 126 \left[\frac{l}{\text{min}} \right]$$

decisamente maggiore dei $30 \left[\frac{l}{\text{min}} \right]$ richiesti.

Pompa secondaria e Succhiarola

La pompa principale **MARCO UP2000** è ad immersione, per cui lascia un livello, seppur minimo, di fluido che non riesce ad aspirare.

Interveniamo per risolvere tale inconveniente installando delle “succhiarole” (**Figura 3.2-2**), cioè delle bocchette in ottone marino provviste di grata che vanno ad aspirare il fondo della sentina

Figura 3.2-2



Tale “succhiarola” viene posizionata nei punti dove si prevede un maggiore accumulo di fluido.

Viene collegata, attraverso tubature **ALIMPOMP/F**, ad una pompa autoadescante **Gianneschi CP30** (**Figura 3.2-3 a, b, c**), auto-adescente ad anello liquido con girante stellare ed elevato auto-innesco, fino a 8 metri) (**Tabella 3.2-2**).

Al primo avviamento o dopo un lungo periodo di inutilizzo, è consigliato riempire il corpo della pompa, ma in condizioni di normale utilizzo, anche con il tubo di aspirazione vuoto, adesca automaticamente.

Figura 3.2-3

a)



b)



c)



IMPIANTO TECNICO

EL/POMPA	POTENZA	ASSORB.	TENSIONE	GIRI/1'	PORTATA l/min										DELIVERY l/min							
					10	15	20	25	35	45	60	75	90	105	125	145	165	190	215	240	265	
EL/PUMP	POWER	ABSOR.	VOLTAGE		PORTATA m ³ /h										DELIVERY m ³ /h							
					0.6	0.9	1.2	1.5	2.1	2.7	3.6	4.5	5.4	6.3	7.5	8.7	9.9	11.4	12.9	14.4	15.9	
	kW	A	V	RPM	PREVALENZA TOTALE m H ₂ O										TOTAL MANOMETRIC HEAD m H ₂ O							
CP 20/1 G	0.15	27+13	12+24 c.c. - d.c.	2600	11	10,5	10	9	7	4												
CP 20/2 G	0.30	32+18	24 c.c. - d.c.	2800	13	12,5	11,5	11	9,5	8	4,5											
CP 25/1 A	0.20	29+16	12+24 c.c. - d.c.	1900	11	10,5	10	9,5	9	8	6	4										
CP 25/2 A	0.40	24	24 c.c. - d.c.	2200				13	12	11	9	6	3									
CP 30 G	0.50	28	24 c.c. - d.c.	1500			20	19	18	15	11	7	3									
CP 32 A	0.60	34	24 c.c. - d.c.	2200					15	14	12	11	9	6								
CP 40	0.75	45	24 c.c. - d.c.	1500						16	15	14	13	12	10	7	5					
CP 40/160	1.5	62	24 c.c. - d.c.	1400			23	22	21	20	19	18	16	14	11	9	6	3				
	-	68	26 c.c. - d.c.	1500				26	25	24	23	22	20	17,5	15	12	9	6	3			
	-	78	28 c.c. - d.c.	1600					29	28	27	26	24	21	18,5	16	13	9	6	2		
CP 40/100	1.5	65	24 c.c. - d.c.	1400					20	19	17	16	15	13,5	12	11	9	7	5	3,5	2	
	-	71	26 c.c. - d.c.	1500						22	20	19	17,5	16	14,5	13	11,5	9	7	5	4	
	-	80	28 c.c. - d.c.	1600								23	21	19,5	18	16,5	15	12,5	10	8	5,5	

Tabella 3.2-2

Jabsco Puppy 2000:



Figura 3.2-4

Questa pompa di sentina autoadescante con girante elastica (**Figura 3.2-4**) può essere montata in qualsiasi posizione è stata specificatamente realizzata per l'utilizzo nell'aspirazione di liquidi in sentine e travasi.

Può funzionare a secco per qualche minuto senza subire danni.

È una pompa con corpo in bronzo e girante elastica in nitrile resistente. Studiata per il pompaggio di sentina o per servizi generali di travaso. Auto-adesamento massimo di 1,2 m, con un'erogazione di 1920 litri ora. Portata 32Lt/min. Alimentazione 24V. Assorbimento 7,5A. Peso 2 Kg.

Galleggianti flottanti

Per le pompe “principali”, essendo automatiche, l'avvio è dato da due interruttori a galleggianti flottanti prodotti dalla **Rule** (**Figura 3.2-5**):



(Figura 3.2-5)

Il primo viene posizionato ad un livello più basso ed ha il compito di attivare la pompa qualora il liquido arrivi ad un livello tale per cui inizia ad essere opportuno espellere fuori bordo, il secondo, ad un livello più alto, attiva un allarme acustico in plancia per informare chi ai comandi che, o la pompa di sentina è fuori uso o nonostante la pompa sia in funzione continua ad aumentare l'acqua in sentina.

Tubazioni

Le tubazioni sentina utilizzate sono della gamma **ALIMPOMP/F**, prodotti dall'azienda **HOSES TECHNOLOGY**, leader nel settore e con un'ampia gamma nell'ambito della nautica da diporto. Si tratta di condotte aventi un sottostrato liscio in **PVC** trasparente alimentare, rinforzi a spirale in acciaio ed una copertura sempre in **PVC** trasparente resistente agli agenti atmosferici e a gran parte dei prodotti chimici.

Per facilitare l'individuazione della tipologia di tubo e sue caratteristiche, in azienda si è adottato di indicare questo tipo di tubature con la sigla SE-xx, dove: SE sta ad indicare che sono tubazioni per sentina della tipologia che sempre si usa, mentre al posto di xx si va ad indicare il valore del diametro interno.

Di seguito viene riportata una tabella (**Tabella 3.2-3**) dei dati tecnici per questo tipo di tubature:

DIAMETRO INTERNO INSIDE DIAMETER		SPESSORE THICKNESS		PESO TEORICO WEIGHT		PRESS. ESERCIZIO WORKING PRESSURE		ASPIRAZ. VACUUM	RAGGIO CURVATURA BENDING RADIUS		LUNGHEZZA LENGTH	
mm	inch	mm	inch	kg/mt	lbs/ft	bar	psi	bar	mm	inch	mt	ft
10	3/8"	3	0.12"	0.16	0.11	7	105	0.8	20	0.79"	30	98.4
12	15/32"	3	0.12"	0.18	0.12	7	105	0.8	25	0.98"	30	98.4
14	9/16"	3.2	0.13"	0.23	0.15	6	90	0.8	30	1.18"	30	98.4
16	5/8"	3.2	0.13"	0.27	0.18	6	90	0.8	35	1.38"	30	98.4
18	23/32"	3.2	0.13"	0.30	0.20	6	90	0.8	40	1.57"	30	98.4
20	25/32"	3.5	0.14"	0.32	0.22	5	75	0.8	50	1.97"	30	98.4
22	7/8"	3.5	0.14"	0.38	0.26	5	75	0.8	55	2.17"	30	98.4
25	1"	4	0.16"	0.49	0.33	5	75	0.8	75	2.95"	30	98.4
30	1.3/16"	4.2	0.17"	0.60	0.40	4.5	67.5	0.8	90	3.54"	30	98.4
32	1.1/4"	4.2	0.17"	0.65	0.44	4.5	67.5	0.8	95	3.74"	30	98.4
35	1.3/8"	4.5	0.18"	0.73	0.49	4	60	0.8	105	4.13"	30	98.4
38	1.1/2"	4.5	0.18"	0.80	0.54	4	60	0.8	115	4.52"	30	98.4
40	1.9/16"	4.5	0.18"	0.87	0.58	3	45	0.8	120	4.72"	30	98.4
45	1.3/4"	5	0.20"	1.15	0.77	3	45	0.8	135	5.31"	30	98.4
50/51	2"	5	0.20"	1.25	0.84	3	45	0.8	150	5.90"	30	98.4
60	2.3/8"	6	0.24"	1.80	1.21	2.5	37.5	0.7	180	7.09"	30	98.4
63	2.1/2"	6	0.24"	1.95	1.31	2.5	37.5	0.7	190	7.48"	30	98.4
70	2.3/4"	6.5	0.26"	2.20	1.48	2	30	0.7	210	8.27"	30	98.4
75/76	3"	7	0.28"	2.50	1.68	2	30	0.7	225	8.86"	30	98.4
80	3.5/32"	7	0.28"	2.70	1.81	2	30	0.7	240	9.45"	30	98.4
100/102	4"	7	0.28"	3.40	2.28	2	30	0.6	300	11.81"	30	98.4

Tutti i dati tecnici sono riferiti ad una temperatura di 23° C ±2° C (ISO 291) – tolleranze su tutti i diametri indicati ±5%.

(Tabella 3.2-3)

Funzionamento impianto sentina

Andiamo ora a parlare del funzionamento dell'impianto così progettato.

Si possono incontrare due casi: la barca è presidiata ed in esercizio oppure non vi è nessuno a bordo ed è ormeggiata in porto.

Nel primo, quando l'acqua raggiunge il primo sensore, in sala macchine o nel resto della sentina, la pompa di interesse viene attivata e il fluido espulso direttamente fuori bordo attraverso tubazioni **ALIMPOMP/F** a diametro interno 30 millimetri, da noi codificati come **SE-30**.

Nel caso la quantità di liquido torni al di sotto del primo sensore, la pompa si arresta, altrimenti, se supera il secondo sensore, si attiva l'allarme in plancia.

A questo punto l'armatore dovrà andare in sentina ad attivare la sentina "secondaria", che lavora con **SE-25**, per cercare di liberare la sentina.

In entrambi i casi, una volta che la sentina è libera ed è rimasto qualche residuo che si intende togliere, si dispone la succhiarola (lavora con SE-20) nella zona di interesse e si aspira fino a che lo si reputa necessario.

Nel secondo caso, quando la nave non è presidiata, sono pochi i sistemi che rimangono in funzione e vengono alimentati dagli accumulatori di corrente. Tra questi vi è l'impianto sentina dato che le infiltrazioni possono avvenire anche a barca ferma.

Per cui si attiva il primo sensore, la pompa "principale" parte e svuota la sentina.

Se non dovesse riuscire a stare dietro all'incremento del livello dell'acqua, si attiva il secondo sensore ed il relativo allarme. A quel punto chi presidia la zona di approdo agirà per riuscire ad attivare le pompe secondarie.

Considerazioni finali

Non tutte le tipologie di impianto sono normate ma quello sentina sì, visto che svolge un compito molto delicato ed importante ai fini del buon funzionamento dell'imbarcazione e che è fondamentale da un punto di vista di sicurezza.

Un eventuale allagamento determinerebbe una impossibilità di utilizzo dell'imbarcazione e, nei casi più gravi, l'affondamento, mettendo a rischio la barca e chi vi è a bordo.

Proprio per questo, gli enti di controllo impongono delle specifiche richieste nei confronti di chi va a realizzare l'impianto.

Compito del progettista è quello di riuscire a realizzare efficacemente ciò che gli viene richiesto.

3.3 Impianto acque nere e grigie

Con **acque nere** si intendono le acque di scarico, i rifiuti del corpo umano e quelli dei servizi igienici e di altri contenitori intesi per ricevere o ritenere tali rifiuti.

Nel tipo di barca da noi considerato, questo tipo di impianto riguarda i soli W.C., i cui rifiuti, per ovvi motivi, dovranno essere scaricati in modo idoneo.

Nel seguente capitolo, insieme alla presentazione dell'impianto acque nere, andiamo ad affiancare quella dedicata alle **acque grigie**.

Questo non viene fatto perché i due sono fisicamente collegati, ma semplicemente perché, in questo capitolo, tratteremo gli **scarichi** in generale e progetteremo entrambi seguendo procedimenti simili.

Le **acque grigie** sono quelle scaricate da cucine, lavabi, bidet, docce, vasche, lavatrici, ombrinali, ecc. e non sono meno inquinanti di quelle nere, contenendo spesso detersivi e altri prodotti chimici.

In molti Paesi, come ad esempio gli Stati Uniti, è vietato scaricare liquami di qualunque tipo nei porti e vicino alla costa.

Le imbarcazioni devono quindi essere dotate di opportune casse per la raccolta delle acque grigie e nere prodotte a bordo, che saranno svuotate in appositi depositi nei porti d'attracco.

Non tutti gli yacht sono provvisti di impianto a casse di raccolta, per cui in questi casi ogni utenza ha le proprie tubazioni, che raccordate assieme scaricano poi fuoribordo.

Per questo motivo, però, tali imbarcazioni non possono, di norma, entrare nei porti in cui vigono i divieti di cui sopra.

Per ottemperare alle nuove norme antinquinamento, imposte ultimamente anche da disposizioni dell'UE, ogni utenza dovrebbe essere dotata di doppia possibilità:

- Scarico diretto fuoribordo, possibile in navigazione al largo dalle coste

- Raccolta in casse o serbatoi e scarico successivo negli impianti di terra presso le banchine dei porti d'attracco, oppure al largo dalle coste.

Imposizioni legislative

Le imposizioni legislative sono le medesime per entrambi i casi, fatta eccezione per qualche precisazione sull'una o sull'altra.

Fattore importante da notare è che le norme richieste per la omologazione da parte dell'ente R.I.Na. non impongono esplicitamente di progettare l'imbarcazione con un serbatoio di ritenzione per le acque nere ma, essendo vietato lo scarico di tali rifiuti in acque portuali, si prevede un sistema per lo stoccaggio momentaneo di essi quando necessario con la possibilità di scaricarli in un secondo momento.

In tale senso e per la buona riuscita di questi impianti, la UNI EN ISO 8099 del 2002 risulta essere molto importante.

Essa contiene numerosi punti cardine che devono essere rispettati.

A proposito delle caratteristiche generiche, impone numerosi limiti riguardo alla capacità del sistema che deve essere in grado di espellere i rifiuti a varie inclinazioni su uno dei due lati (almeno 20°) e in condizioni di appruamento e appoppamento (almeno 10°).

Ciò è reso possibile grazie all'utilizzo di sifoni che, sempre secondo norma, devono impedire flussi a ritroso al loro interno per inclinazioni su uno dei due lati (almeno 20°) e in condizioni di appruamento o appoppamento (almeno 10°).

Vengono normati anche i serbatoi che, in particolare, devono essere saldamente fissati, avere uno specifico diametro minimo per il tubo di disaerazione a seconda della capacità degli stessi.

Viene normata anche la tipologia e lunghezza delle tubazioni, per permettere il libero flusso dell'acqua di scarico, prevenire intasamenti e male odori.

IMPIANTO TECNICO

In particolare modo, avendo reputato due serbatoi da 330[l] più che sufficienti per un'imbarcazione di queste dimensioni, la norma impone che nella progettazione si utilizzino tubi di disaerazione dei serbatoi di diametro interno non minore di 19[mm].

In oltre, il sistema deve essere provvisto di una valvola di intercettazione in corrispondenza del raccordo a mare dello scafo e di un raccordo di aspirazione di coperta.

Questo secondo viene utilizzato quando si è in porto e si vuole svuotare il serbatoio.

Componenti

Pompa polivalente

Lo scarico dei due impianti è realizzato attraverso pompa polivalente **Gianneschi CP30** (Figura 3.3-1 a, b, c), auto-adescente ad anello liquido con girante stellare ed elevato auto-innesco, fino a 8 metri) (Tabella 3.3-1).

Al primo avviamento o dopo un lungo periodo di inutilizzo, è consigliato riempire il corpo della pompa, ma in condizioni di normale utilizzo, anche con il tubo di aspirazione vuoto, adesca automaticamente.

La stessa utilizzata per l'impianto sentina.

CAPITOLO TERZO



a)

CP 30G



b)



c)

(Figure 3.3-1)

IMPIANTO TECNICO

EL/POMPA	POTENZA	ASSORB.	TENSIONE	GIRI/1	PORTATA l/min										DELIVERY l/min						
					10	15	20	25	35	45	60	75	90	105	125	145	165	190	215	240	265
EL/PUMP	POWER	ABSOR.	VOLTAGE		PORTATA m ³ /h										DELIVERY m ³ /h						
					0.6	0.9	1.2	1.5	2.1	2.7	3.6	4.5	5.4	6.3	7.5	8.7	9.9	11.4	12.9	14.4	15.9
	kW	A	V	RPM	PREVALENZA TOTALE m H ₂ O										TOTAL MANOMETRIC HEAD m H ₂ O						
CP 20/1 G	0.15	27÷13	12÷24 c.c. - d.c.	2600	11	10,5	10	9	7	4											
CP 20/2 G	0.30	32÷18	24 c.c. - d.c.	2800	13	12,5	11,5	11	9,5	8	4,5										
CP 25/1 A	0.20	29÷16	12÷24 c.c. - d.c.	1900	11	10,5	10	9,5	9	8	6	4									
CP 25/2 A	0.40	24	24 c.c. - d.c.	2200				13	12	11	9	6	3								
CP 30 G	0.50	28	24 c.c. - d.c.	1500			20	19	18	15	11	7	3								
CP 32 A	0.60	34	24 c.c. - d.c.	2200					15	14	12	11	9	6							
CP 40	0.75	45	24 c.c. - d.c.	1500					16	15	14	13	12	10	7	5					
CP 40/160	1.5	62	24 c.c. - d.c.	1400			23	22	21	20	19	18	16	14	11	9	6	3			
	-	68	26 c.c. - d.c.	1500				26	25	24	23	22	20	17,5	15	12	9	6	3		
	-	78	28 c.c. - d.c.	1600					29	28	27	26	24	21	18,5	16	13	9	6	2	
CP 40/100	1.5	65	24 c.c. - d.c.	1400					20	19	17	16	15	13,5	12	11	9	7	5	3,5	2
	-	71	26 c.c. - d.c.	1500					22	20	19	17,5	16	14,5	13	11,5	9	7	5	4	
	-	80	28 c.c. - d.c.	1600							23	21	19,5	18	16,5	15	12,5	10	8	5,5	

(Tabella 3.3-1)

CAPITOLO TERZO

Tubazioni Acque Nere

Vengono impiegate tubazioni **SANIPOMP/W**.

Si tratta di tubi in gomma spiralati, flessibili e robusti, appositamente progettati come collegamento per lo scarico WC nelle imbarcazioni.

La loro prerogativa è quella di limitare la propagazione di odori derivanti dal passaggio degli scarichi delle toilette.

La struttura è la seguente:

- **sottostrato** liscio in gomma nera con un buon livello di impermeabilità
- **rinforzo** dovuto ad una spirale metallica con tessuti sintetici ad alta resistenza
- **copertura** in gomma bianca resistente all'abrasione, all'acqua di mare e agli agenti atmosferici
- **superficie** liscia ad impressione tela

In **Tabella 3.3-2** sono riportati alcuni diametri caratteristici:

DIAMETRO INTERNO INSIDE DIAMETER		DIAMETRO ESTERNO OUTSIDE DIAMETER		PESO TEORICO WEIGHT		PRESS.ESERCIZIO WORKING PRESSURE		PRESS.SCOPIO BURST PRESSURE		ASPIRAZ. VACUUM	RAGGIO CURVATURA BENDING RADIUS		LUNGHEZZA LENGTH	
mm	inch	mm	inch	kg/mt	lbs/ft	bar	psi	bar	psi	bar	mm	inch	mt	ft
16	5/8"	26	1.1/32"	0.56	0.36	7	105	21	315	0.9	65	2.56"	30.5	100
19	3/4"	29	1.5/32"	0.70	0.47	7	105	21	315	0.9	75	2.95"	30.5	100
25	1"	35	1.3/8"	0.75	0.50	7	105	21	315	0.9	100	3.94"	30.5	100
38	1.1/2"	48	1.7/8"	1.15	0.77	7	105	21	315	0.9	150	5.91"	30.5	100

(Tabella 3.3-2)

IMPIANTO TECNICO

Tubazioni Acque Grigie

Le tubazioni sentina utilizzate sono della gamma **ALIMPOMP/F**, prodotti dall'azienda **HOSES TECHNOLOGY**, leader nel settore e con un'ampia gamma nell'ambito della nautica da diporto. Si tratta di condotte aventi un sottostrato liscio in **PVC** trasparente alimentare, rinforzi a spirale in acciaio ed una copertura sempre in **PVC** trasparente resistente agli agenti atmosferici e a gran parte dei prodotti chimici.

Per facilitare l'individuazione della tipologia di tubo e sue caratteristiche, in azienda si è adottato di indicare questo tipo di tubature con la sigla SE-xx, dove: SE sta ad indicare che sono tubazioni per sentina della tipologia che sempre si usa, mentre al posto di xx si va ad indicare il valore del diametro interno.

Di seguito viene riportata una tabella (**Tabella 3.3-3**) dei dati tecnici per questo tipo di tubature:

DIAMETRO INTERNO INSIDE DIAMETER		SPESSORE THICKNESS		PESO TEORICO WEIGHT		PRESS. ESERCIZIO WORKING PRESSURE		ASPIRAZ. VACUUM	RAGGIO CURVATURA BENDING RADIUS		LUNGHEZZA LENGTH	
mm	inch	mm	inch	kg/mt	lbs/ft	bar	psi	bar	mm	inch	mt	ft
10	3/8"	3	0.12"	0.16	0.11	7	105	0.8	20	0.79"	30	98.4
12	15/32"	3	0.12"	0.18	0.12	7	105	0.8	25	0.98"	30	98.4
14	9/16"	3.2	0.13"	0.23	0.15	6	90	0.8	30	1.18"	30	98.4
16	5/8"	3.2	0.13"	0.27	0.18	6	90	0.8	35	1.38"	30	98.4
18	23/32"	3.2	0.13"	0.30	0.20	6	90	0.8	40	1.57"	30	98.4
20	25/32"	3.5	0.14"	0.32	0.22	5	75	0.8	50	1.97"	30	98.4
22	7/8"	3.5	0.14"	0.38	0.26	5	75	0.8	55	2.17"	30	98.4
25	1"	4	0.16"	0.49	0.33	5	75	0.8	75	2.95"	30	98.4
30	1.3/16"	4.2	0.17"	0.60	0.40	4.5	67.5	0.8	90	3.54"	30	98.4
32	1.1/4"	4.2	0.17"	0.65	0.44	4.5	67.5	0.8	95	3.74"	30	98.4
35	1.3/8"	4.5	0.18"	0.73	0.49	4	60	0.8	105	4.13"	30	98.4
38	1.1/2"	4.5	0.18"	0.80	0.54	4	60	0.8	115	4.52"	30	98.4
40	1.9/16"	4.5	0.18"	0.87	0.58	3	45	0.8	120	4.72"	30	98.4
45	1.3/4"	5	0.20"	1.15	0.77	3	45	0.8	135	5.31"	30	98.4
50/51	2"	5	0.20"	1.25	0.84	3	45	0.8	150	5.90"	30	98.4
60	2.3/8"	6	0.24"	1.80	1.21	2.5	37.5	0.7	180	7.09"	30	98.4
63	2.1/2"	6	0.24"	1.95	1.31	2.5	37.5	0.7	190	7.48"	30	98.4
70	2.3/4"	6.5	0.26"	2.20	1.48	2	30	0.7	210	8.27"	30	98.4
75/76	3"	7	0.28"	2.50	1.68	2	30	0.7	225	8.86"	30	98.4
80	3.5/32"	7	0.28"	2.70	1.81	2	30	0.7	240	9.45"	30	98.4
100/102	4"	7	0.28"	3.40	2.28	2	30	0.6	300	11.81"	30	98.4

Tutti i dati tecnici sono riferiti ad una temperatura di 23° C ±2° C (ISO 291) – tolleranze su tutti i diametri indicati ±5%.

(Tabella 3.3-3)

W.C.

Vengono utilizzate toilette “Saninautico” (**Figura 3.3-2**), prodotte dalla TECMA.

Si tratta di W.C. in ceramica, appositamente pensati e realizzati per la nautica.

Infatti, oltre alla pompa di immissione dell’acqua dolce, al suo interno ve ne è installata una seconda di macerazione che manda i fluidi di scarico direttamente al serbatoio di accumulo, senza dover utilizzare una pompa aggiuntiva dedicata.

(Figura 3.3-2)



Funzionamento

Andiamo ora a parlare del funzionamento dell'impianto così progettato.

- Impianto Acque Nere

Le toilette "Saninautico" vengono collegate direttamente al serbatoio di ritenzione attraverso tubazioni SANIPOMP/W con diametro interno di 38[mm]. Grazie alla pompa di macerazione, non sono necessari accumuli intermedi perché gli scarichi vengono aspirati e mandati alla cassa di accumulo.

Tale cassa è dotata di sistemi di ventilazione che nel nostro caso consistono in due tubi da 19[mm], uno per ogni lato della barca, che attraverso dei sifoni permettono la fuoriuscita dei gas, impedendo ad agenti esterni di entrare.

Una volta che i rifiuti raggiungono lo stoccaggio, qui vi rimangono fino a che non si decide di espellerli.

Come già detto, quando la barca è in porto, lo svuotamento della cassa può avvenire mediante collegamento con l'impianto di raccolta a terra.

A questo scopo, l'imbarcazione è dotata di un bocchettone per il collegamento con la tubazione di aspirazione in banchina.

Quando, invece, si trova in mare aperto, a dovuta distanza dalla costa, può scaricare direttamente fuori bordo.

Da notare che il serbatoio acque nere ha due tipi di allarmi:

- 1 allarme di tre-quarti, quando il serbatoio è pieno per i $\frac{3}{4}$ si ha una segnalazione di pre-allarme
- 2 allarme di quattro-quarti, quando il serbatoio è pieno si ha un segnale di allarme e il blocco automatico dello scarico da parte delle toilette

- *Impianto Acque Grigie*

Gli scarichi di docce, lavandini, bidè ecc. vengono raccolti nel serbatoio di raccolta dedicato, avente due sfiati per i gas da 19[mm] con sifone, come nel caso delle acque nere.

Tale cassa ha solo un allarme da tre-quarti.

Nel caso particolare delle acque di condensa dei condizionatori, queste possono essere convogliate a vaschette di raccolta che gettano direttamente fuoribordo o alla cassa di ritenzione.

In questo secondo caso, però, le tubazioni devono essere dotate di una paperella anti-odore particolare, altrimenti si corre il rischio di avere un ritorno di odori presso i condizionali d'aria posti all'interno delle cabine.

IMPIANTO TECNICO

CAPITOLO QUARTO

Introduzione impianto fotovoltaico: funzionamento e schema

4.1 Premessa

Dopo una premessa riguardante generici impianti tecnici, andiamo ora ad analizzare la progettazione di un impianto fotovoltaico, tema centrale della relazione.

In un contesto europeo di riconversione e trasformazione sostenibile del sistema energetico, influenzato dai cambiamenti climatici in atto e dalla crisi degli approvvigionamenti di combustibile fossile tradizionale, è imposta l'urgenza di nuove strategie che trasformino il sistema attuale in uno più sostenibile sia da un punto di vista ambientale che industriale ed economico.

In tutta Europa la produzione di energia elettrica tramite fonti rinnovabili è in crescita: già nel 2008 si è registrato un incremento, rispetto al 1997, del 40%, passando da 350TWh a 504,3TWh.

In modo particolare, la notevole diffusione della tecnologia fotovoltaica avuta negli ultimi anni ha fatto sì che essa sia riuscita ad ottenere un ruolo fondamentale nella produzione di energia elettrica tra le fonti rinnovabili, offrendo notevoli opportunità d'innovazione crescita tecnologica ed industriale di tale settore.

A giustificazione degli ingenti investimenti diretti all'utilizzo e allo sviluppo del fotovoltaico sono presenti vari fattori: a partire dalla diffusa disponibilità della fonte solare, dalla sua facile integrabilità nell'edilizia, dalla semplicità costruttiva e dalle trascurabili richieste di manutenzione, dall'assenza di emissioni di gas serra fino ad arrivare al notevole, e non trascurabile, grado di accettazione da parte dell'opinione pubblica.

È di fondamentale importanza, però, installare un impianto fotovoltaico facendo particolare attenzione alla sua reale efficienza e produttività.

Si intende, quindi, realizzare un impianto fotovoltaico compatibilmente con le dimensioni dell'imbarcazione e le sue esigenze elettriche, valutando le potenze prodotte con le superfici a disposizione e i costi per

INTRODUZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO: FUNZIONAMENTO E SCHEMA

riuscire a realizzarle, che sia in grado di sostituire o affiancare il generatore a combustibile fossile nella produzione e immagazzinazione della corrente elettrica.

Come già detto, dagli anni '90 in poi sia la produzione di celle fotovoltaiche che la ricerca in questo campo è cresciuta esponenzialmente. Tuttavia, ancora oggi, il rendimento dei pannelli fotovoltaici, cioè la quantità di energia solare che attraverso di essi viene convertita in energia elettrica, è circa del 18%, comunque sempre inferiore al 20% anche nei casi migliori.

Le odierne tecnologie, non essendo ancora in grado di raggiungere obiettivi importanti riguardo all'accumulo di energia solare, non permettono di soppiantare completamente il generatore di corrente a combustibile fossile, soprattutto su di una imbarcazione come questa, nella quale lusso, comfort e prestazioni sono l'unico vero obiettivo finale, prescindendo ciò che questo può comportare da un punto di vista energetico e tanto meno economico.

É altresì vero che, in particolari situazioni in cui la barca è ormeggiata o ferma al largo, cioè a motori spenti, uno studio di questo tipo può rivelarsi affrontabile e giustificato qualora si voglia accumulare energia solare per assicurare il funzionamento di sistemi a basso consumo di energia, quali allarmi sentina, memorie radio, passerella elettronica per salire a bordo e luci esterne, prescindendo dai generatori a combustibile oppure anche per affiancare quest'ultimi nella ricarica del banco batterie.

Un impianto fotovoltaico è legato a diversi fattori, che andremo a studiare, da cui non si può prescindere e che ne limitano, come vedremo più avanti, l'efficacia e di conseguenza la fattibilità. Partiamo dallo studio di funzionamento delle celle fotovoltaiche.

4.2 Principio di funzionamento celle

Come detto, ci sono varie tipologie di tecnologie fotovoltaiche, molte ancora in fase di sperimentazione. Le più diffuse e che interessano al nostro studio sono quelle al Silicio, per cui andremo di seguito a comprendere come esse funzionano e quali tipologie si possono incontrare, tenendo in considerazione pregi e difetti delle une e delle altre.

Partendo dal concetto fondamentale che la sorgente di energia di un sistema fotovoltaico è la radiazione solare, cioè l'energia elettromagnetica che sprigiona il sole, di seguito verrà esposto come tale tecnologia consenta di trasformare direttamente l'energia solare in energia elettrica a partire da materiali semiconduttori.

Vedremo anche come, in tale settore, sia presente una leadership del silicio, dovuta a svariati vantaggi, quali l'abbondanza e la compatibilità ambientale della materia prima, le buone proprietà elettroniche del materiale, la stabilità nel tempo dei dispositivi e la forte sinergia con le tecnologie della microelettronica.

Negli ultimi anni, però, inizia a farsi strada il fotovoltaico ad alta concentrazione che utilizza celle ad altissima efficienza, di piccole dimensioni ma molto costose a parità di unità di area rispetto alle tradizionali, caratterizzate da concentratori ottici di grande superficie sempre puntati verso il sole per intercettarne ortogonalmente la componente diretta della radiazione.

Consideriamo ora il caso di una tradizionale cella fotovoltaica di silicio cristallino per spiegare i meccanismi fisici alla base di tale effetto.

Il principio che sta alla base del funzionamento delle celle fotovoltaiche è detto "**Effetto Fotovoltaico**".

Consiste nella capacità di una giunzione elettrica, opportunamente realizzata, di assorbire energia dai fotoni (luce) e convertirla in corrente.

INTRODUZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO: FUNZIONAMENTO E SCHEMA

Il Silicio ha 4 elettroni di “**Valenza**”, cioè quattro elettroni nell’orbitale più esterno. Fornendo a questi una opportuna quantità di energia (per il semi-conduttore Silicio si parla di 1.12V), sotto forma di luce o di calore, essi possono essere liberati nel reticolo, essendo così in grado di saltare dalla banda di “**Valenza**” a quella di “**Conduzione**”, lasciando uno spazio vuoto nel reticolo cristallino detto “**Lacuna**”.

A questo punto, però, si otterrebbe un movimento disordinato di cariche di segno opposto, ostacolato da continui fenomeni di ricombinazione tra elettroni e lacune, che ha come unico risultato una produzione di calore.

Effetto assolutamente inutile per il nostro fine.

Se, però, si riesce a dare un orientamento preferenziale a tali spostamenti, si ottiene una produzione di corrente elettrica.

Creando un opportuno campo elettrico, si riesce a fare in modo che gli elettroni in eccesso, originati dall’assorbimento della luce, siano separati dalle rispettive lacune, obbligando gli elettroni ad andare in una direzione e le lacune nell’altra.

Otteniamo, così, una concentrazione di cariche positive da una parte e di negative dall’altra, determinando una differenza di potenziale che, se collegata ad un carico esterno, produce corrente elettrica e quindi raggiungiamo il nostro fine.

Per fare questo si sfrutta la “**Giunzione p-n**”.

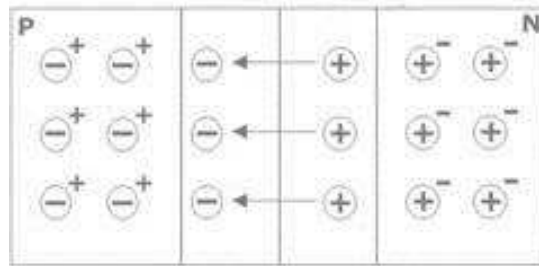
Attraverso opportuni trattamenti fisici-chimici, si produce un eccesso di “**Lacune**” da un lato del conduttore (**p**) e un eccesso di elettroni dall’altro lato (**n**). Questa operazione è detta “**Drogaggio**”: drogando la struttura cristallina del Silicio (tetravalente) con un elemento trivalente (es. il Boro) si ottiene una lacuna per ogni atomo introdotto (lato **p**), drogando la struttura con un elemento pentavalente (es. il Fosforo) si libera un elettrone per ogni atomo introdotto.

Se prendiamo un elemento con drogaggio **p** e uno con drogaggio **n** e li accostiamo, creiamo la giunzione p-n.

A questo punto avremo che, per diffusione, gli elettroni liberi di muoversi nel reticolo cristallino passano dalla zona **n** alla zona **p** e le lacune in senso opposto, così che il silicio di tipo **n** si carica

CAPITOLO QUARTO

positivamente e quello di tipo **p** si carica negativamente (**Figura4.2-1**) in prossimità della zona di contatto, detta di “**carica spaziale**”.



(**Figura4.2-1**)

Una volta raggiunto l'equilibrio, si crea un campo elettrico interno che impedisce alle lacune di passare in **n** e agli elettroni di passare in **p**.

A questo punto, nel momento in cui il semi-conduttore viene stimolato dai fotoni della luce solare, tale campo interno permette la rottura delle coppie elettrone-lacuna che si vengono a creare grazie al salto di banda dell'elettrone, favorendo la circolazione degli elettroni in eccesso.

Ultime parti fondamentali, ai fini del corretto funzionamento della cella, sono i contatti metallici presenti su entrambe le superfici (superiore ed inferiore) che ha il compito di convogliare il flusso di elettroni.

Inferiormente (lato nascosto) il contatto metallico occupa tutta la superficie, superiormente (lato esposto al sole) il contatto è fatto a griglia, così da diminuire la superficie riflettente.

Se il circuito è aperto, misuriamo solamente una d.d.p. (dovuta alla maggiore concentrazione di elettroni in **n** e di lacune in **p**), mentre se è chiuso, cioè collegato ad un carico, otteniamo, oltre ad una d.d.p. una corrente.

Può succedere, però, che alcuni elettroni non riescano a raggiungere questi contatti metallici, andandosi a “**ricombinare**” con le lacune di segno opposto.

INTRODUZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO: FUNZIONAMENTO E SCHEMA

Entra in gioco la “**Distanza di diffusione**”, cioè il tratto che, all’interno del reticolo cristallino, un elettrone deve coprire prima di potersi ricombinare con un atomo. Maggiore è questo valore e più è probabile che gli elettroni liberi riescano a raggiungere i contatti metallici.

A questo punto si ottiene un flusso esterno che va da **n** (potenziale maggiore) a **p** (potenziale minore).

Fintanto che la cella è esposta alla luce solare e che, quindi, ai fotoni è permesso di interagire con la giunzione, si ottiene una corrente continua.

4.3 Schema impianto:

Per iniziare lo studio, ci basiamo sulla progettazione civile di impianti fotovoltaici in cui si possono avere due casi:

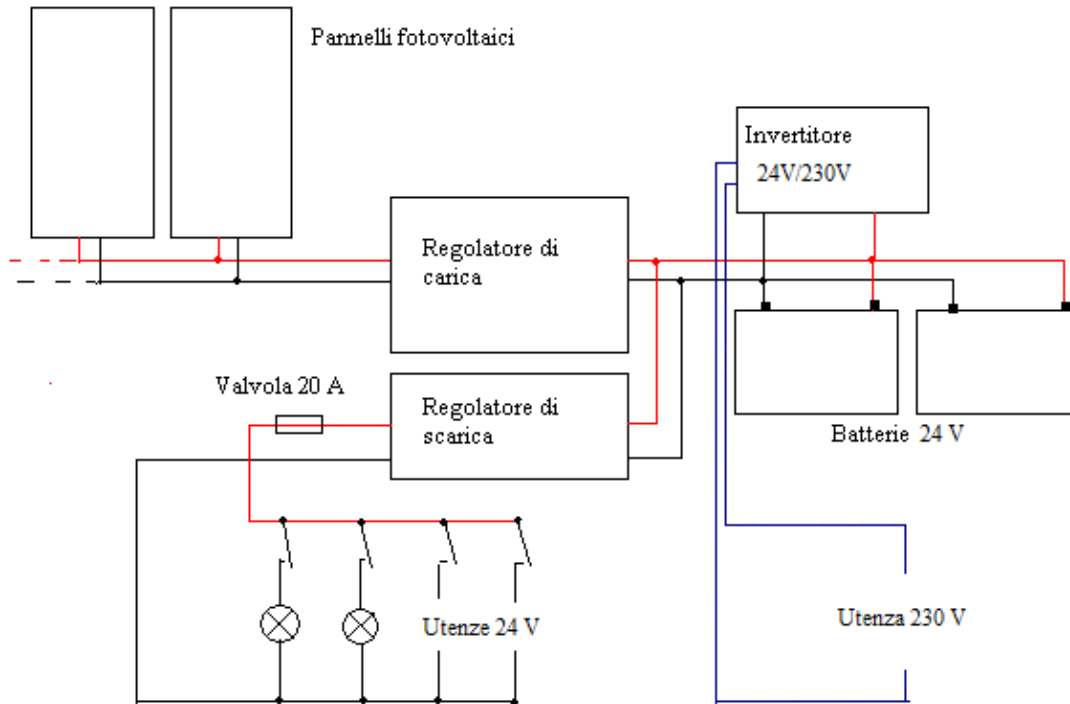
1. un collegamento diretto con rete elettrica e possibile scambio di energia (es. vendendo alla rete nazionale l'energia prodotta in eccesso dai pannelli solari rispetto al consumo). In questi casi l'utenza può contare sia sull'energia elettrica prodotta dal pannello fotovoltaico sia sulla normale erogazione di energia della rete nazionale. Il costo finale in bolletta sarà il saldo algebrico tra i due flussi di energia. Questa tipologia è detta “**Grid-Connect**” e può essere di piccole dimensioni, ad esempio piccole utenze, o di grandi dimensioni, come nel caso di centrali fotovoltaiche. Il principio di funzionamento è basato sul fatto che, l'energia elettrica prodotta dai pannelli solari viene ceduta direttamente alla rete elettrica nazionale e conteggiata a credito da uno speciale contatore del gestore della rete elettrica.
2. Il sistema non viene connesso alla rete. Pertanto non cede ad essa l'energia che eventualmente viene prodotta in eccesso ma la accumula in apposite batterie locali. Questa possibilità di immagazzinare consentirà, in un secondo tempo, l'erogazione alle utenze d'interesse. Questo tipo di sistema è detto “**Stand-Alone**” ed ha l'indubbio vantaggio di fornire energia elettrica in luoghi ancora scoperti dalla rete elettrica e risolvere, quindi, il problema delle utenze difficili ed il costo sociale di allacciamento alla rete elettrica, decisamente elevato.

Per ovvi motivi legati all'impossibilità di allaccio alla rete elettrica, si decide di realizzare un impianto “**Stand-Alone**”, altrimenti detto “**ad isola**” sfruttando l'accumulo di energia nel banco batterie, in modo da

INTRODUZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO: FUNZIONAMENTO E SCHEMA

essere in grado di garantirne la fornitura per un certo numero di giorni, a prescindere dall'allaccio alla rete fissa.

Di seguito, (**Figura 4.3-1**), viene riportato un generico schema circuito “**Stand-Alone**” nel quale sono indicati tutti i componenti necessari nel caso di un impianto civile che serve utenze da 230[V] e 24[V]:



(Figura 4.3-1)

Si osserva che i pannelli vengono collegati in parallelo al regolatore di carica e da qui l'energia viene immagazzinata nel banco batterie.

A questo punto, se l'utenza da 230[V] richiede corrente, questa passerà attraverso l'invertitore altrimenti, se a richiedere corrente sono le utenze da 24[V], la corrente passerà da un secondo regolatore di carica e successivamente a tali utenze.

Nel nostro caso non risulta necessario l'impiego di un invertitore, perché le utenze che andremo ad alimentare non ne hanno necessità, essendo tutte da 24[V].

L'energia elettrica prodotta è normalmente a bassa tensione e a corrente continua, quindi per essere utilizzata nelle abitazioni va trasformata in

CAPITOLO QUARTO

corrente alternata a 220[V]. Questo è reso possibile dall'utilizzo di uno strumento chiamato inverter. Nel nostro caso, però, dovremo andare ad accumulare energia in batterie che funzionano a 24[V], stivate nella sala macchine, ed alimentare utenze alla medesima tensione, per cui non è necessario l'utilizzo di quest'ultimo.

Inoltre, tale inverter serve unicamente per le utenze a 230[V] in assenza di alimentazione di banchina o generatore.

Come circuitazione ci appoggiamo all'impianto pre-esistente, al quale andiamo ad aggiungere solo la parte relativa ai pannelli, regolatore di carica e allaccio al circuito.

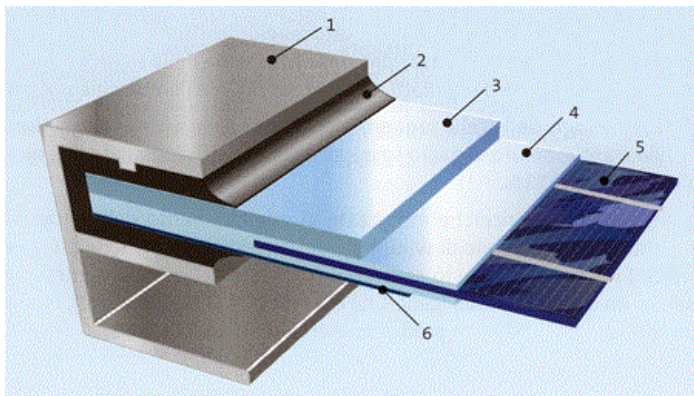
Infatti, i pannelli, il cui numero verrà ottenuto più avanti, vengono collegati ad un regolatore di carica, che ne modula la corrente in uscita ad un valore massimo di 20[A]. Vengono installati, tra il circuito pre-esistente e la parte relativa ai pannelli, degli interruttori magneto-termici da 25[A], per evitare sovracorrenti e corti-circuiti sulla linea, assicurandoci che la corrente non vada a rovinare i pannelli.

CAPITOLO QUINTO

Struttura ed assemblaggio celle

5.1 Struttura

Tipica struttura di un pannello fotovoltaico standard (**Figura 5.1-1**) è la seguente:



(Figura 5.1-1)

dove:

1. cornice in alluminio
2. collante inerte
3. vetro temprato
4. sottile strato di acetato di vinile
5. celle assemblate
6. superficie di supporto

Sopra una superficie posteriore di supporto, in genere realizzata in un materiale isolante anti-umidità come il vetro temperato o un polimero come il Tedlar (6) vengono appoggiati un sottile strato di acetato di vinile, identificato come incapsulante EVA che serve per l'isolamento delle celle dall'umidità e per isolamento elettrico (4).

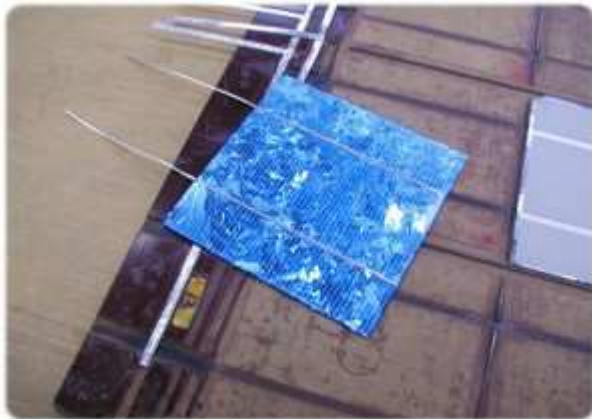
L'EVA (ovvero acetato viniletilenico) è un materiale dielettrico (cioè a bassa conducibilità elettrica) in grado di garantire un contatto tra la cella ed il vetro eliminando gli interstizi ed isolando elettricamente la parte. Sopra le nostre celle assemblate (5) c'è un secondo strato di EVA e un

materiale trasparente che funge da protezione meccanica anteriore per le celle fotovoltaiche, in genere vetro temperato (3).

Il procedimento di pressofusione trasforma l'EVA in mero collante inerte (2). Le celle vengono chiuse in una scatola di giunzione nella parte posteriore del modulo fotovoltaico e il "sandwich" ottenuto viene fissato ad una cornice in alluminio (1).

5.2 Funzionamento pannelli

Ogni singola cella viene connessa alle altre mediante ribbon metallici detti "busbar" (**Figura 5.2-1**) che, attraversando la cella, formano opportune serie e paralleli elettrici.



(Figura 5.2-1)

In poche parole, i busbar hanno il compito di trasportare, come dice la parola stessa "bus", la corrente generata dal modulo.

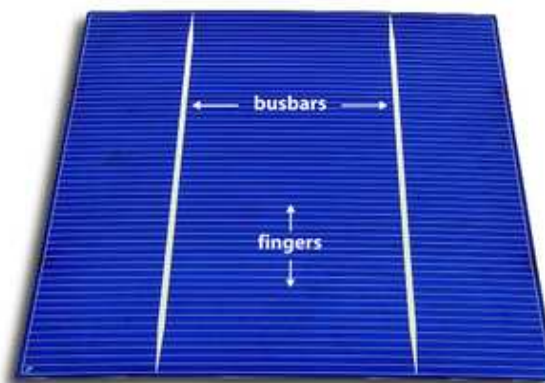
In altri termini, di canalizzare gli elettroni generati dal modulo per il cosiddetto effetto-fotovoltaico, cioè quel principio basato sulle proprietà di alcuni materiali semiconduttori, in grado di convertire l'energia della radiazione solare in energia elettrica, senza parti meccaniche in movimento e senza l'uso di alcun combustibile.

Le varie tipologie di pannelli solari sono tecnologie costruttivamente molto simili.

CAPITOLO QUINTO

Essendo lo strato con drogaggio n quello generalmente esposto alla luce, sulla sua superficie viene realizzata una griglia metallica che crea il contatto elettrico per la raccolta della carica, andando a canalizzare gli elettroni.

Tale griglia è generalmente formata da sottili (in modo da non coprire eccessivamente lo strato foto-attivo su cui vengono depositate) strisce metalliche parallele tra loro (“fingers”) e da due strisce metalliche (“busbar”), ortogonali ai fingers, che servono a convogliare verso l’esterno la corrente raccolta dai fingers stessi (**Figura 5.3-4**).



(Figura 5.3-4)

Posizionata tale griglia, viene depositato, sempre sul lato esterno, uno strato di antiriflesso che consente la riduzione delle perdite dovute alla riflessione della radiazione incidente.

5.3 Assemblaggio

Il componente fondamentale di un pannello è la **cella fotovoltaica**.

Generalmente si presenta di colore nero o blu a forma ottagonale e dimensioni variabili dai 10 ai 12 [cm].

Le tipologie principali sono le **mono** e le **multi**-cristalline in silicio.

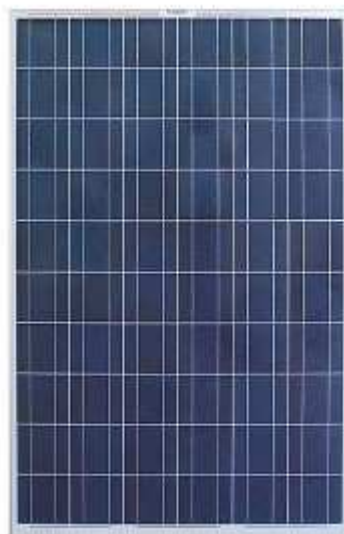


(Figura 5.3-1)



(Figura 5.3-2)

La differenza principale è che il **mono**-cristallino viene realizzato a partire da un wafer (Figura 5.3-1) la cui struttura cristallina è omogenea, il che garantisce una massima conducibilità dovuta al perfetto allineamento degli atomi di silicio allo stato puro, mentre il **multi**-cristallino, in cui il wafer (Figura 5.3-2) non è strutturalmente omogeneo ma organizzato in grani localmente ordinati, si ottiene riciclando componenti elettronici scartati, detti “**scraps di silicio**” il quale viene rifuso per ottenere una composizione cristallina compatta.



(Figura 5.3-3)

CAPITOLO QUINTO

Questo fa sì che le celle di un modulo **multi**-cristallino siano costituite da un insieme di più cristalli di silicio, determinando un rendimento leggermente inferiore a quello del **mono**-cristallino.

Assemblando insieme le varie celle, si ottiene il **modulo**.

Un esempio di pannello policristallino è riportato in (**Figura 5.3-3**).

CAPITOLO SESTO

Generalità componenti impianto fotovoltaico

6.1 I pannelli:

Il pannello fotovoltaico, chiamato anche modulo fotovoltaico, è un particolare tipo di pannello solare che ha la capacità di generare corrente elettrica quando viene esposto alla luce del Sole, come spiegato nel **(Capitolo 4.2)** sui principi di funzionamento.

Questa è anche la principale caratteristica che lo differenzia dal pannello solare termico, utile, invece, per produrre acqua calda a scopo sanitario (igiene personale o lavaggio delle stoviglie) o per il riscaldamento. Purtroppo la tecnologia attuale permette accumulare nelle batterie solo il 12-24 % dell'energia solare che colpisce il pannello fotovoltaico mentre per quelli termici si riesce a raggiungere rendimenti anche superiori all'80%.

Tale debolezza è dovuta a vari fattori:

- **interni all'impianto**, cioè i rendimenti dei componenti materiali
- **esterni all'impianto**, ad esempio l'incidenza della luce sulla superficie captante ed il meteo

Ma il fattore determinante, che condiziona maggiormente il risultato finale dell'impianto, è il pannello con il suo rendimento.

6.1.1 Tipologie

Sul mercato sono presenti varie tipologie di pannelli, a seconda delle caratteristiche delle celle fotovoltaiche.

Possiamo distinguerli in tre gruppi principali:

- **di prima generazione**, sono quelli più utilizzati nell'industria fotovoltaica, a base di silicio **mono e multi-cristallino** e nastri di silicio (Si ribbon).
- **di seconda generazione**, secondi per utilizzo. Sono tecnologie a **film sottile** e utilizzano come materiale Tellurio di Cadmio (CdTe), Diseleniuro di Rame Indo e Gallio (Cu(InGa)Se₂) e **Silicio amorfo e microcristallino**.
- **di terza generazione**, tecnologie emergenti che hanno come obiettivo quello di compensare gli elevati costi con l'alta efficienza delle celle.

I più diffusi sono quelli di prima e seconda generazione.

Silicio cristallino o prima generazione

Come è stato approfondito in precedenza, la tecnologia fotovoltaica consente la conversione della radiazione solare incidente su di una cella di semiconduttore in una corrente di elettroni.

Molti tipi di semiconduttori possono essere utilizzati per realizzare queste celle solari, ma, qualunque sia il materiale impiegato, il meccanismo con cui la cella sfrutta la luce solare per ottenere energia elettrica è essenzialmente lo stesso ed è denominato "**effetto fotovoltaico**".

CAPITOLO SESTO

Il materiale più largamente utilizzato è il silicio.

Tali celle possono essere in silicio **MULTICRISTALLINO** (Figura 6.1.1-3) o **MONOCRISTALLINO** (Figura 6.1.1-2).

Entrambe appaiono esteticamente come tante celle, quadrate o rettangolari, affiancate sotto una lastra di vetro, avente lo scopo di assicurare un buon isolamento dagli agenti atmosferici, e incorniciate con dell'alluminio atto a conferire alla struttura robustezza e maneggiabilità.

In (Figura 6.1.1-1) è riportata una foto di come si presenta, ad esempio, un modulo multi-cristallino assemblato.



(Figura 6.1.1-1)

Solitamente sono composti da circa 30-70 celle fotovoltaiche singole affiancate, elettricamente unite e fissate attraverso particolari materiali alla struttura in vetro e alluminio.

Il rendimento globale di un pannello solare di medie caratteristiche in silicio monocristallino è di circa il 13-18%, ultimamente sono stati raggiunti anche rendimenti più spinti vicini al 25%, mentre quello di un pannello solare in silicio multicristallino è di circa il 12-14 %.

Quindi, a parità di spazio, il mono-cristallino ha un elevato rendimento ma anche un maggiore costo di produzione. Infatti, può impiegare dai 3 ai 6 anni (contro, ad esempio, i 2 o 3 del silicio amorfo) per restituire la

GENERALITA' COMPONENTI IMPIANTO FOTOVOLTAICO

sola energia che è stata impiegata per la sua realizzazione, mentre nell'arco della sua vita ne produrrà dalle 4 alle 8 volte di più.

Questo problema è il difetto maggiore del modulo monocristallino.

Un altro, abbastanza fastidioso di questa ultima tecnologia fotovoltaica, è legato ad una sostanziale diminuzione, od anche abbattimento del rendimento, in caso di ombre particolari che coprono anche una piccola porzione del modulo, o nel caso di nuvole, o ancora durante le ore serale e del primo mattino.

Problema che, nel caso di una barca, risulta essere abbastanza contenuto. Fatto è che questi tipi di pannelli fotovoltaici rimangono ottimi prodotti con elevata qualità e stabilità del rendimento, mantenendolo costante e garantito nel tempo anche per 25 anni.

A parità di spazio occupato risultano essere più convenienti, proprio grazie alla loro efficacia.

In particolare:

- **mono-cristallino:**

Ogni cella è realizzata a partire da un wafer la cui struttura cristallina è omogenea (appunto: monocristallina).



(Figura 6.1.1-2)

Essa è costituita da un singolo cristallo di silicio, il che garantisce una massima conducibilità dovuta al perfetto allineamento degli atomi di silicio allo stato puro.

CAPITOLO SESTO

Il rendimento, come già detto, si aggira attorno al 14% – 18% e le celle fotovoltaiche sono di colore blu scuro a forma ottagonale (**Figura 6.1.1-2**).

I motivi per cui si è indotti a scegliere un pannello al silicio monocristallino sono il suo alto rendimento, lo stato di sviluppo della tecnologia e la sua affidabilità.

Gli svantaggi di tali pannelli invece sono da ricercare nel costo e nella complessità di fabbricazione oltre che nella quantità di materiale richiesto.

- **pluri-cristallino:**

Il wafer non è strutturalmente omogeneo ma organizzato in grani localmente ordinati.

Si ottiene riciclando componenti elettronici scartati, ossia il cosiddetto “scraps di silicio”, che vengono rifusi per ottenere una composizione cristallina compatta.

Quindi, le celle di un modulo policristallino o multi cristallino (**Figura 6.1.1-3**) sono costituite da un insieme di più cristalli di silicio.

Il rendimento si aggira intorno all' 12% – 14% e le celle sono di colore blu intenso di forma quadrata come puoi vedere dalla foto qui sotto.

I principali punti a favore di questa realizzazione sono un discreto rendimento ed un processo di costruzione molto semplice, mentre il maggior svantaggio è dato dall'alta sensibilità alle impurità.



(**Figura 6.1.1-3**)

Film sottile o seconda generazione

Le celle solari in silicio cristallino sono le più diffuse ma la crescita esponenziale del fotovoltaico, insieme alla necessità di ridurre i costi, ha determinato la necessità di sviluppare nuove tecnologie per rendere disponibili prodotti a prezzi competitivi.

Il principio che divide questa seconda generazione dalla precedente è proprio quella di abbassare i costi, in particolare quelli di produzione.

Questo lo si ottiene sfruttando tecnologie che permettono di aumentare i volumi di produzione ottenibili, in termini di metri quadri di modulo per minuto, e le piccole quantità di materiale attivo utilizzato: gli strati assorbitori, infatti, presentano spessori inferiori al micron.

Questo fa sì che si usino processi di purificazione del materiale, dalle impurezze, meno costosi.

Altre caratteristiche a favore di questa tipologia sono la minore dipendenza dalla temperatura, rispetto a quelli di prima generazione, dell'efficienza, dalla componente di luce diffusa se marcata e dai bassi livelli di irradiazione solare.

Questo implica che anche in giornate nuvolose l'efficienza subisce una diminuzione pressoché minima.

L'idea che sta alla base della tecnologia a film sottile è quella di impiegare substrati di basso costo, così da ridurre i costi di produzione, insieme a quantità minime di un opportuno semiconduttore con una superiore capacità di assorbimento della radiazione solare rispetto a quella del silicio cristallino.

È dimostrato che la piena competitività di una tecnologia fotovoltaica rispetto alle tecnologie tradizionali si realizza solo a fronte di un costo di produzione dei moduli che deve essere inferiore a 1 €/Wp.

I più elevati tassi di produzione, in termini di metri quadri di moduli al minuto rispetto alla tecnologia di prima generazione, insieme alle ridotte quantità di materiale attivo necessarie, sono fattori che implicano buone potenzialità di riduzione dei costi.

CAPITOLO SESTO

Tuttavia, l'obiettivo di lungo termine del costo del fotovoltaico posto a 0.5 €/Wp potrebbe anche non essere mai raggiunto con le tecnologie a film sottile.

Infatti, l'insieme di queste caratteristiche non basta a conferire ai pannelli di seconda generazione un buon successo industriale, principalmente perché ci sono numerosi dubbi riguardo la possibilità di sostenere il mercato con tecnologie basate su materiali molto costosi come l'Indo, ampiamente utilizzato nell'industria dell'elettronica, o su materiali quale il Tellurio di Cadmio che impiega Tellurio, scarsamente disponibile, ed il Cadmio, tossico.

Se poi prendiamo in considerazione le celle solari a film sottile di silicio, essendo queste le più diffuse ed efficienti tra le tecnologie di seconda generazione, possiamo anche osservare che soffrono di un fenomeno di degrado indotto dall'illuminazione.

I film sottili di silicio che attualmente vengono utilizzati per la fabbricazione di celle solari possono avere un struttura amorfa o microcristallina.

Nella sua forma amorfa è un materiale con un alto grado di disordine strutturale: la struttura atomica non presenta l'ordine a lunga distanza che caratterizza i materiali cristallini e policristallini.

Negli anni le celle di tipo amorfo hanno raggiunto efficienze maggiori al 10% ma l'efficienza stabile risulta essere minore rispetto a quella ottenuta inizialmente poiché tali celle risultano soggette al fenomeno del degrado indotto dall'illuminazione (effetto Staebler-Wronski).



(Figura 6.1.1-4)

Tale fenomeno causa, nelle prime centinaia di ore di funzionamento del dispositivo, una non trascurabile riduzione dell'efficienza.

Il film sottile nella forma di silicio microcristallino presenta una maggiore stabilità quando esposto alla radiazione solare rispetto al silicio amorfo.

Questo specifico tipo di pannello solare, si presta ad essere adagiato direttamente sulla superficie di interesse (**Figura 6.1.1-4**), senza una struttura portante, anche su superfici leggermente curve.

In poche parole, un vetro trasparente speciale viene rivestito su di un lato, con vari passaggi, di silicio allo stato amorfo e di vari altri prodotti, al fine di creare un ottimo livello di impermeabilità e di isolamento elettrico.

Il lato trasparente è quello che si esporrà al Sole, mentre sullo strato opaco sono fissati dei profili di alluminio per il fissaggio alla struttura. Dallo stesso lato partono i due fili che portano la corrente generata dal pannello solare all'impianto.

La tensione prodotta da ogni singolo modulo fotovoltaico è di circa 24 - 40 Volt e, una volta collegati in parallelo tra di loro, le varie correnti si sommano e vengono convogliate alle batterie, passando per un regolatore di corrente di cui si approfondirà in seguito.

Il rendimento di questi pannelli fotovoltaici va dal 6 al 10 % circa, ma, nei primi due mesi di vita, il rendimento diminuisce di quasi il 20 %, per poi rimanere stabile, con un degrado delle prestazioni che deve essere garantito, e non deve superare il 20% nei primi 20 anni di funzionamento.

In ogni caso, la potenza dei moduli la si calcola proprio considerando immediatamente la perdita iniziale del 20%.

Quindi, durante i primi mesi di vita, la resa di un pannello venduto con potenza di $40[W]$, in realtà è di $48[W]$, fino a stabilizzarsi effettivamente sui $40[W]$ dopo i primi mesi di funzionamento.

CAPITOLO SESTO

Per concludere le considerazioni fatte, possiamo dire che, da un punto di vista di costo di produzione, il pannello fotovoltaico in silicio amorfo è quello che si difende meglio, in quanto, necessitando di un quantitativo abbastanza basso di energia per essere prodotto, riesce a restituire in pochi anni quella che è stata spesa per produrlo, e arriva a generarne fino a 10-12 volte di più, nell'arco della sua vita.

Questo è un dato molto importante da un punto di vista prettamente 'ecologico', in quanto spesso si rischia di produrre e utilizzare dei prodotti che hanno consumato più energia per venire prodotti, di quante ne riescano a restituire, fattore importante di cui tenere conto.

Il rovescio della medaglia è che, purtroppo, avendo un basso rendimento rispetto agli altri modelli di pannelli fotovoltaici, occorre installarne un numero abbastanza elevato.

Questo, ovviamente, non pregiudica il discorso di costo energetico appena fatto, ma disponendo di una superficie utile abbastanza ristretta, come nel nostro caso, il problema è rilevante e, di fatto, è il motivo per cui non andremo a scegliere questo tipo di tecnologia.

Ad ogni modo, a parità di condizioni, il risparmio economico è assicurato, visto che in pratica il costo per ogni Watt producibile con questa tecnologia è del 25-40 % inferiore rispetto alle altre tecnologie fotovoltaiche.

Un altro vantaggio molto importante dei moduli a silicio amorfo è legato al fatto che, durante le giornate nuvolose, ombreggiate, o nelle ore serali e mattutine, si ottengono dei rendimenti superiori anche dell'8-15% rispetto alle tecnologie mono e poli-cristalline.

Se ne deduce quindi che i pannelli solari a silicio amorfo sono particolarmente indicati per le zone dove spesso c'è la presenza di nuvole o ostacoli fisici che generano ombre che, in generale, non rispecchia la nostra condizione tipica, essendo la barca posizionata in mare in luoghi caldi e soleggiati.

I pannelli fotovoltaici per impianti stand-alone (cioè per utenze isolate) lavorano a tensioni basse (circa 12 o 24 Volt) perché le batterie normalmente lavorano su tali tensioni.

GENERALITA' COMPONENTI IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Questi accorgimenti tecnici aumentano la resa generale di un impianto solare a moduli fotovoltaici in silicio amorfo, rispetto agli impianti solari a pannelli fotovoltaici monocristallini o multicristallini, ma occorre tenere presente che normalmente il rendimento del pannello fotovoltaico in silicio amorfo diminuisce di circa l'1 % ogni anno, mentre il rendimento del pannello fotovoltaico in silicio monocristallino o multicristallino rimane costante anche per 25 anni.

L'attacco dei vari moduli alla superficie di interesse avviene grazie a dei profili in alluminio presenti in ogni caso sul retro dei moduli: di fatto la cornice in alluminio è utile quasi unicamente per estetica e migliorare la maneggevolezza dei vari moduli.

Terza generazione

Alcune di queste nuove tecnologie puntano alla forte riduzione dei costi, realizzando dispositivi fotovoltaici mediante tecniche di stampa, abbassano i costi ma raggiungono rendimenti massimi che si aggirano attorno all'11%.

Altre si concentrano sul forte incremento di efficienza tramite nuove architetture di celle, spesso facendo ricorso alle nanotecnologie, ma entrambe richiedono ancora forti investimenti di risorse nella ricerca e sono ancora allo stadio sperimentale.

CAPITOLO SESTO

Nel nostro studio andremo a considerare dei pannelli con caratteristiche medie come i monocristallini, cioè con un rendimento di circa il 18%.

Affiché la scelta del pannello risulti essere adeguata alle utenze da servire, ai costi da sostenere e agli spazi occupabili, deve essere indirizzata su caratteristiche il più performanti possibili, senza intaccare la veridicità dello studio, legato ad una possibile applicazione nel caso reale.

Le utenze da servire determinano un'energia accumulata richiesta ben precisa.

I costi concessi per la realizzazione materiale dell'impianto, a meno di esagerazioni inutili o costi di installazione e produzione maggiori degli effetti utili, non sono un problema rilevante dato che questo tipo di imbarcazioni predilige il comfort e le prestazioni ad un risparmio monetario troppo restrittivo.

Gli spazi a disposizione sono legati alla struttura dell'imbarcazione, per cui molto vincolanti.

Nei capitoli successivi andremo ad analizzare le scelte.

6.2 *Il regolatore di carica*

Il regolatore di carica (**Figura 6.2-1**) è un dispositivo elettronico, necessario ai fini di una corretta progettazione, che ha il compito di svolgere alcune funzioni molto importanti.



(Figura 6.2-1)

La principale è quella di **sezionamento automatico del campo fotovoltaico** (cioè di tutti i moduli) dal banco delle batterie nel caso in cui la tensione erogata dai moduli sia inferiore a quella minima di ricarica degli accumulatori, ad esempio se il cielo è molto o parzialmente coperto, di notte, a seguito di guasti o interruzioni per manutenzioni.

In altre parole, se il modulo fotovoltaico eroga una tensione inferiore a quella minima di ricarica delle batterie, per motivi che possono ad esempio essere cielo coperto o notte, il regolatore di carica agisce in modo che i pannelli non fungano da carichi. Questo perché, altrimenti, invece di caricare le batterie, le si andrebbe a scaricare e a rovinare i pannelli stessi.

Funge anche da sezionamento automatico del campo fotovoltaico dagli accumulatori in caso di ricarica completa ed eventuale bypass della corrente prodotta dai moduli.

Oppure anche come sezionamento automatico del campo fotovoltaico dagli accumulatori in caso di scarica totale di questi ultimi (batteria ormai esaurita) ed eventuale bypass della corrente prodotta dai moduli in modo da inviarla direttamente agli apparecchi utilizzatori.

In sintesi, il regolatore di carica funge da stabilizzatore dell'energia raccolta e la gestisce all'interno del sistema.

CAPITOLO SESTO

La scelta di tale meccanismo deve essere effettuata in funzione delle potenze erogabili dai moduli, per cui verrà rimandata ai successivi capitoli.

6.3 *Banco batterie*

L'accumulatore è in genere costituito da monoblocchi, o elementi singoli specificamente progettati per cariche e scariche profonde e cicliche. Proprio a causa di questa ciclicità, gli impianti che devono garantire continuità di servizio anche alle più severe condizioni, generalmente non sono impiegati accumulatori per uso automobilistico che, pur funzionando a dovere, hanno bassa "vita utile", ossia tollerano un minor numero di cicli di carica e scarica rispetto ad accumulatori progettati e costruiti appositamente per questa tipologia di impiego, come ad esempio le batterie al litio.

Quelle da noi considerate sono fornite dalla FIAMM e non si tratta di batterie al litio, bensì di semplici batterie al piombo-calcio senza manutenzione, adatte all'uso marino perché sono una via intermedia tra le batterie di avviamento (tipo quelle auto-motive) e quelle "deep-cycle" (tipo quelle al litio che hanno funzionamenti adatti a scariche e cariche consistenti e per lunghi periodi).

CAPITOLO SETTIMO

Progettazione impianto fotovoltaico

7.1 Premessa

Il dimensionamento corretto di un buon impianto dipende da molteplici fattori, alcuni oggettivi e di facile individuazione, altri più specifici e di carattere tecnico. Tra i primi vanno considerati:

- **orientamento e inclinazione dell'imbarcazione:** tutte le caratteristiche tecniche dei pannelli sono ottenute con inclinazione incidente ottimale della luce rispetto alla superficie di interesse. Nella realtà del nostro caso, visto che andremo a sfruttare pannelli fissi, questo non avverrà praticamente mai ma noi andiamo comunque a considerare sempre tale condizione, in modo da semplificare considerazioni e calcoli
- **radiazione solare disponibile:** dipende principalmente da due fattori: il primo dovuto alle condizioni meteorologiche, il secondo dovuto alla posizione, distanza ed inclinazione della Terra rispetto al Sole
- **ombreggiamenti naturali o artificiali:** fattori che nel nostro caso non costituiscono un problema fondamentale, essendo la nave sempre posta lontana da qualsiasi tipo di struttura che la copra dalla luce solare, anche se questo non è per forza vero in assoluto
- **consumi energia elettrica:** l'impianto deve essere adeguato alle richieste delle utenze. Questo perché un impianto sotto dimensionato risulterà incapace di produrre quanto richiesto, uno sovradimensionato, anche se in grado di farlo, risulterà potenzialmente sprecato, rendendolo comunque inefficiente

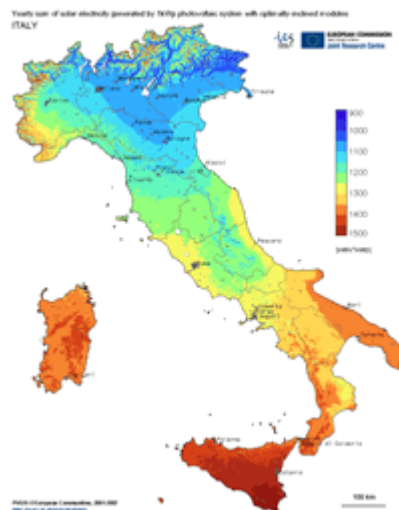
PROGETTAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO

- **superfici disponibili:** l'accumulo di energia, oltre a dipendere dal tipo di pannello, dall'irradiazione solare e dalla inclinazione, è legato alla superficie captante dello stesso. Se troppo ristrette, possono negare un adeguato accumulo di energia

Tra gli aspetti tecnici, occorre innanzitutto verificare la produzione dell'impianto in base alla zona geografica d'installazione.

Per avere un riferimento indicativo e, allo stesso tempo, esplicativo del legame tra zona geografica e produttività di corrente elettrica attraverso l'energia solare, si osservi la **(Figura 7.1-1)**.

In essa è riportata la differenza di energia producibile per singolo kWp, a seconda della posizione geografica in Italia, in base all'irraggiamento solare:



(Figura 7.1-1)

Le zone rosse sono quelle che hanno un irraggiamento incidente maggiore, quelle blu minore.

Per cui, l'energia erogabile in un anno presso Catania sarà maggiore di quella che potremmo ottenere a Belluno.

CAPITOLO SETTIMO

E' stimato che, in media, al:

- Nord → 1[kWp] produce tra i 1.100 e i 1.250 $[\frac{kWh}{anno}]$
- Centro → 1[kWp] produce tra i 1.250 e 1450 $[\frac{kWh}{anno}]$
- Sud → 1[kWp] produce tra i 1.450 e 1.650 $[\frac{kWh}{anno}]$

Dove [kWp] è l'abbreviazione di chilowatt picco, cioè la potenza massima erogabile da un modulo fotovoltaico nelle condizioni standard di test si misura in Watt di picco [Wp].

Per cui è immediato osservare che, a seconda della posizione dell'imbarcazione, avremo un'energia annua prodotta differente e di seguito vedremo che, anche a seconda del periodo dell'anno, cambiano questi fattori.

7.2 *Calcolo utenze*

Queste tipologie di barche da divertimento vengono progettate per avere i maggiori comfort possibili in tutti gli ambiti, dal riscaldamento all'aria condizionata, passando per i frigoriferi e le innumerevoli quantità di luci posizionate per tutta l'imbarcazione (fuori bordo, dentro le cabine e persino sotto il livello dell'acqua). Conoscendo le limitate capacità delle tecnologie odierne nell'ambito della produzione di corrente elettrica tramite fotovoltaico, andiamo a calcolare quanti devono essere i pannelli per potere soddisfare le esigenze delle utenze o, in altre parole, la superficie captante necessaria, per le sole “utenze luci”.

L'energia richiesta, ovviamente, sarà una piccola parte della totalità necessaria per riuscire a soppiantare i generatori a combustibile fossile, però ci può aiutare a giustificare la necessità di questo tipo di impianto e a comprenderne fattibilità, efficienza ed efficacia.

Possiamo osservare che la richiesta oraria teorica di energia E_T è di circa:

$$E_T = 1,2 \left[\frac{kWh}{h} \right]$$

Questo perché a bordo dell'**Itama 75** sono posizionati, sia entro barca (con funzione di luci di servizio cucina, cabina ecc.) che fuori barca (come luci di estetica), circa 60 faretto alogeni standard, le cui caratteristiche sono:

$P_s = 20[W]$ → energia richiesta dal singolo faretto

G4 → tipologia di attacco del faretto

$V_s = 24[V]$ → tensione richiesta dal singolo faretto

che assorbono una corrente pari a:

$$I_s = \frac{P_s}{V_s} = \frac{20[W]}{24[V]} = 0,83[A]$$

dove:

CAPITOLO SETTIMO

$I_s \rightarrow$ intensità di corrente assorbita dal singolo faretto

Procederemo ora a svolgere lo studio facendo un equilibrio di energie: quella richiesta dalle utenze dovrà essere uguale a quella accumulabile nelle batterie da parte dei pannelli.

Per cui, nel caso avessimo tutti i faretti accesi, avremmo una intensità di corrente pari a:

$$I_{tot} = 0,83[A] \cdot 60[\text{faretti}] = 50[A]$$

E otteniamo che l'energia oraria teoricamente richiesta vale:

$$E_T = 24[V] \cdot 50[A] = 1200[W] = 1,2\left[\frac{kWh}{h}\right]$$

dove:

$E_T \rightarrow$ teorica energia richiesta dall'utenza

Però, nella realtà dai calcoli, dobbiamo tenere conto di tutte le possibili perdite che si riscontrano nel sistema, andando a considerare un'energia realmente richiesta E_c .

La relazione che lega le due è la seguente:

$$E_C = \frac{E_T}{\eta_b \cdot \eta_c \cdot \eta_{rc}} \text{ con } E_C > E_T$$

dove :

$\eta_b \rightarrow$ rendimento carica batterie ($\approx 0,9$)

$\eta_c \rightarrow$ rendimento circuiti ($\approx 0,9$)

$\eta_{rc} \rightarrow$ rendimento regolatore di carica ($\approx 0,85$)

PROGETTAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Calcolo che porta ad una maggiorazione di E_T di circa il 45%.

Ovviamente l'energia che dobbiamo erogare E_{pv} , sarà diversa dalla E_C reale richiesta. In particolare non è detto che debba valere:

$$E_{pv} > E_C$$

visto che il calcolo si basa sull'**accumulo** di energia e non sull'energia che istantaneamente risulterebbe necessario erogare per soddisfare le utenze.

A questo punto, note le energie in gioco, attraverso una semplice uguaglianza delle potenze, si può ottenere la superficie necessaria per soddisfare le richieste dell'impianto.

È opportuno prestare attenzione quando si definisce il calcolo, tenendo in considerazione il metodo attraverso il quale l'impianto fotovoltaico rende disponibile la corrente.

Questo, infatti, avviene per **accumulo**, per cui è sbagliato esprimere l'uguaglianza in funzione della unità oraria, come se l'impianto producesse solo su richiesta delle utenze, mentre risulta adeguato esprimere l'uguaglianza in funzione di un diverso periodo di tempo, come ad esempio un intero anno.

Prima di procedere con il calcolo vero e proprio, è necessario scegliere quale tipologia di pannelli si intende usare, essendo presenti sul mercato varie tipologie con caratteristiche differenti.

7.3 *Calcolo pannelli*

E' possibile affrontare il calcolo in due maniere distinte:

- un primo approccio punta ad ottenere il minimo numero di pannelli in grado di soddisfare le utenze e confrontarlo con il limite imposto dalla struttura, considerando note in partenza l'energia richiesta, i rendimenti e l'irradiazione solare;
- un secondo approccio può essere realizzato andando a calcolare l'energia che si riesce ad accumulare e confrontarla con quella richiesta, considerando noti in partenza i rendimenti, l'irradiazione solare e il limite di superficie dato dalla struttura.

Andiamo in un primo momento a valutare il limite di spazio disponibile imposto dalla struttura dell'imbarcazione per l'installazione dei pannelli. Dato che la Itama75 è già in produzione, gli spazi disponibili sono pochi.

Dalle **Figure 7.3-1 e 7.3-2** è possibile notare come le scelte risultino essere obbligate:



Figura 7.3-1

infatti tutta la barca è progettata per essere completamente calpestabile. Ciò significa che in ogni suo punto, anche sulla parte di prua del ponte,

PROGETTAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO

deve essere possibile camminare, tanto che vi è stato posizionato un divano, agibile nei momenti di relax in cui l'imbarcazione è ferma.

Quindi, l'unica superficie sfruttabile, ove posizionare i pannelli, per motivi di ingombro, estetica ed aerodinamica risulta essere il Roll-bar nero posto esattamente sopra la postazione di manovra.

Tale superficie risulta essere di circa $A_{pv} = 6,43[m^2]$ ed è quella indicata di rosso in **Figura 7.3-2**:

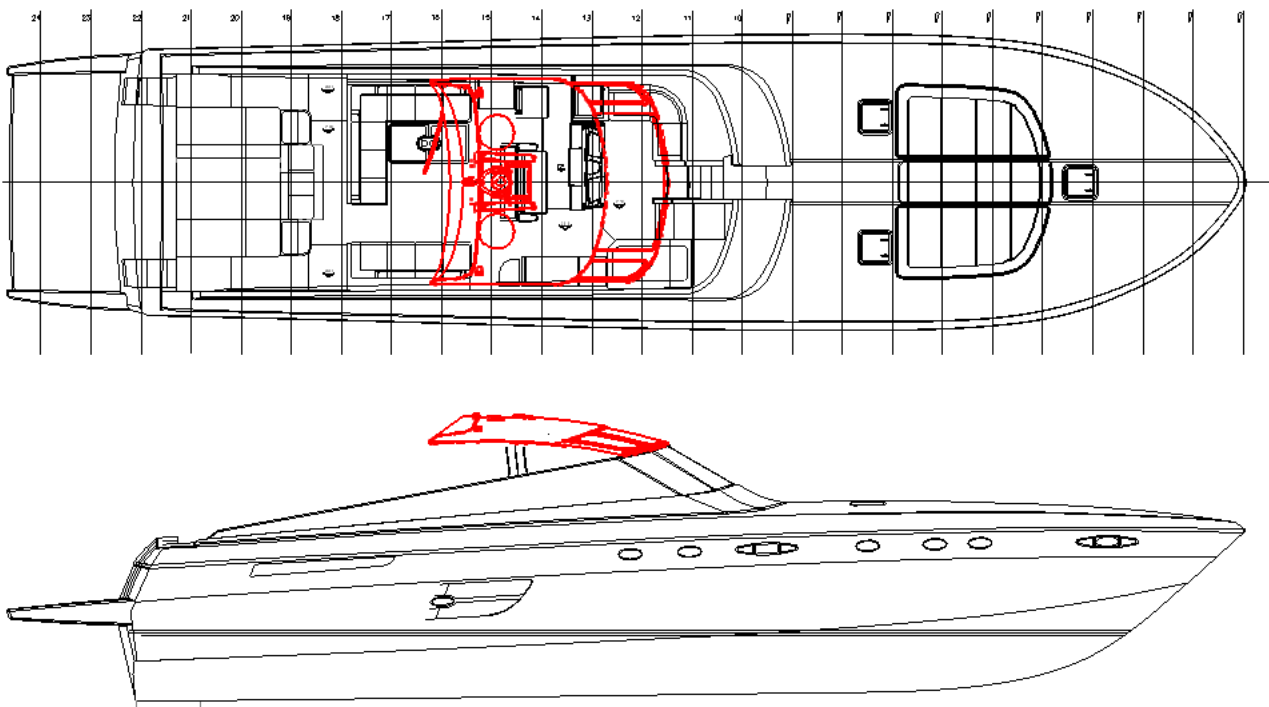


Figura 7.3-2

Non identifica esattamente la superficie ricopribile dai pannelli, dovendo questi essere montati inclinati rispetto alla barca, ma in prima approssimazione possiamo considerarle molto simili.

A questo punto, andiamo a fare i calcoli necessari per ottenere l'energia che si riuscirebbe a produrre.

Solitamente, nella progettazione di impianti fotovoltaici, l'area a disposizione varia a seconda che quella netta misurata sul sito d'interesse si trovi su di una struttura inclinata o su una superficie piana.

Questo perché risulta necessario tenere conto degli ingombri dei moduli che devono essere distanziati gli uni dagli altri onde evitare fenomeni di auto-ombreggiamento.

Nel nostro caso lo spazio è abbastanza ristretto e saremo comunque costretti a realizzare un unico filare, per cui non è necessario fare calcoli in questo senso.

Andrebbe anche calcolata l'inclinazione dei pannelli per sfruttare al meglio l'irradiazione solare ma questo risulta impossibile dato che l'imbarcazione, durante il suo funzionamento, si sposterà continuamente.

Procedimento

Improntiamo il calcolo andando a valutare l'energia richiesta dalle utenze in funzione delle ore di funzionamento annue della barca e delle ore di sole, così da calcolare la **potenza di picco** necessaria.

Ogni tipologia di pannello ha un suo rendimento.

Di tutta la radiazione luminosa che va ad investire la cella, solo una minima parte viene convertita in energia elettrica.

I principali motivi di una così modesta efficienza sono i seguenti:

- **riflessione**: non tutti i fotoni che incidono sulla cella penetrano al suo interno, dato che in parte sono riflessi dalla superficie e parte incidono sulla griglia metallica dei contatti.
- **energia sufficiente**: per rompere il legame tra elettrone e nucleo è necessaria una ben determinata quantità di energia e non tutti i fotoni incidenti la possiedono. In oltre, alcuni fotoni troppo energetici generano coppie **elettrone-lacuna**, dissipando in calore l'energia

PROGETTAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO

eccedente rispetto a quella necessaria a staccare l'elettrone dal nucleo.

- **ricombinazione:** non tutte le coppie elettrone-lacuna generate sono raccolte dal campo elettrico di giunzione e inviate al carico esterno, poiché nel percorso dal punto di generazione verso la giunzione possono incontrare cariche di segno opposto e quindi ricombinarsi.
- **resistenze parassite:** le cariche generate e raccolte nella zona di svuotamento devono essere inviate all'esterno. L'operazione di raccolta è compiuta dai contatti metallici, posti sul fronte e sul retro della cella. Anche se durante la fabbricazione viene effettuato un processo di lega tra silicio e alluminio dei contatti, permane una certa resistenza all'interfaccia ed essa provoca una dissipazione che riduce la potenza trasferita al carico. Nel caso di celle al silicio policristallino, l'efficienza è ulteriormente ridotta a causa della resistenza che gli elettroni incontrano ai confini tra un grano e l'altro e, soprattutto, nel caso di celle al silicio amorfo, per la resistenza dovuta all'orientamento casuale dei singoli atomi.
- **resistenza superficiale:** si perde il 3% a causa della resistenza superficiale della cella.

È evidente che, a causa di tutte queste diminuzioni, il rendimento sarà generalmente molto basso, pari ad appena il 18 % circa dell'energia solare incidente.

L'irradiazione massima di luce solare che va ad incidere su di una superficie di $1[m^2]$, in condizioni ottimali di esposizione, inclinazione e

CAPITOLO SETTIMO

posizione, nell'impiantistica è stimabile in $1\left[\frac{kWp}{m^2}\right]$, dove con Wp si indica i **watt di picco**.

L'efficienza del pannello fa sì che una parte di tale quantità venga decurtata.

Ad esempio, se considero un pannello con una efficienza del 30%, allora questo sarà in grado di trasmetterne $300\left[\frac{Wp}{m^2}\right]$.

L'energia richiesta dalle utenze è stata precedentemente stimata in:

$$E_T = 24[V] \cdot 50[A] = 1200[W] = 1,2\left[\frac{kWh}{h}\right]$$

dove:

$E_T \rightarrow$ teorica energia richiesta dall'utenza

Sappiamo, però, che nella realtà dei calcoli dobbiamo tenere conto di tutte le possibili perdite che si riscontrano nel sistema, andando a considerare un'energia realmente richiesta E_c .

La relazione che lega le due è la seguente:

$$E_C = \frac{E_T}{\eta_b \cdot \eta_c \cdot \eta_{rc}} \text{ con } E_C > E_T$$

dove :

$\eta_b \rightarrow$ rendimento carica batterie ($\approx 0,9$)

$\eta_c \rightarrow$ rendimento circuiti ($\approx 0,9$)

$\eta_{rc} \rightarrow$ rendimento regolatore di carica ($\approx 0,85$)

Calcolo che, come già detto, porta ad una maggiorazione di E_T di circa il 45%.

Per cui:

PROGETTAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO

$$E_C = \frac{E_T}{\eta_b \cdot \eta_c \cdot \eta_{rc}} = \frac{1,2 \left[\frac{kWh}{h} \right]}{0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,85} = 1,74 \left[\frac{kWh}{h} \right]$$

dove:

$E_C \rightarrow$ energia realmente richiesta dalle utenze luce, tiene conto dei rendimenti delle batterie, dei circuiti e del regolatore di carica

Come detto in precedenza, è opportuno esprimere le energie in funzione di un periodo di tempo di accumulo.

Ipotizziamo che le luci stiano accese 24 h per circa 20 giorni, per un

totale di $500 \left[\frac{h}{anno} \right]$, considerazione avvalorata dal fatto che stiamo considerando una imbarcazione da diporto, utilizzata per un tempo limitato (circa 3 settimane) rispetto alla sua vita utile .

Ciò significa dover riuscire ad immagazzinare nelle batterie un'energia pari a:

$$E_T = 500 \left[\frac{h}{anno} \right] \cdot 1,2 \left[\frac{kWh}{h} \right] \cong 600 \left[\frac{kWh}{anno} \right]$$

$$E_C = 1,45 \cdot 600 \left[\frac{kWh}{anno} \right] = 870 \left[\frac{kWh}{anno} \right]$$

Se si considera che le ore di sole annue siano in media 1000, allora abbiamo che la potenza di picco necessaria dei pannelli dovrà valere:

$$\frac{870 \left[\frac{kWh}{anno} \right]}{1000 \left[\frac{h_{sole}}{anno} \right]} = 0,87 [kWp]$$

A questo punto dobbiamo andare a scegliere la tecnologia del pannello, cui sarà legata una certa efficienza.

7.4 Scelta dei componenti

Come già detto, i componenti che dovremo andare a installare sono: i **pannelli**, il **regolatore di carica** e il **banco batterie**.

Scelta pannelli fotovoltaici

Gli spazi sull'imbarcazione utili all'installazione dei pannelli sono ridotti, per cui risulta impensabile realizzare un impianto fotovoltaico di soli moduli **amorfi**, date le considerazioni fatte nei capitoli precedenti. Infatti necessitano, a causa di un rendimento decisamente inferiore alle altre tipologie di tecnologie e a parità di richiesta delle utenze, di superfici molto estese.

Quindi escludiamo in partenza la possibilità degli **amorfi**.

Tra i **mono-cristallini** e i **pluri-cristallini**, le caratteristiche tecniche ci portano a tenere in maggiore considerazione i primi, principalmente a causa del loro maggiore rendimento medio.

Ricercando attraverso internet nei cataloghi delle varie aziende produttrici e su riviste specializzate di pannelli fotovoltaici, è stato individuato il seguente modulo (**Figura 7.4-1**):

Pannelli fotovoltaici Bisol 250Wp Europei per Integrazione architettonica	
Dimensioni	: 1649x991x5 mm
Peso	: 18.5 kg
Tipo di celle	: silicio monocristallino
Potenza tipica	: 250 Wp tolleranza solo positiva +6Wp
Tensione con potenza massima	: 27,8 Volt
Intensità con potenza massima	: 6,63 Ampere
Connessioni	: 1 scatola 'grid' con 2 connettori Tyco Solar
Tensione massima del sistema	: 1000 Volt
Tensione di circuito aperto	: 35,2 Volt
Intensità di cortocircuito	: 7,15 Ampere
Struttura esterna	: cornice in Alluminio speciale per integrazione architettonica
Incapsulamento	: vetro temperato / tedlar
Garanzia	: 10 anni sui difetti di fabbrica, 25 anni sulla resa energetica con massimo decadimento del 20%
Certificazioni	: IEC 61215 Classe II, CE

(Figura 7.4-1)

PROGETTAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Esso ha caratteristiche competitive ed una efficienza del 25%.

Per cui, per riuscire a realizzare $1[kWp]$ saranno necessari almeno $4[\frac{m^2}{kWp}]$.

Dovendo noi realizzare $0,87[kWp]$, avremo che la superficie captante necessaria con tale tecnologia sarà:

$$0,87[kWp] \cdot 4[\frac{m^2}{kWp}] = 3,5[m^2]$$

Visto che le dimensioni di tale pannello sono $1649 \times 991 \times 5$ [mm], la sua superficie captante sarà di $1,64[m^2]$.

Risulta così necessario installare almeno 3 pannelli di questa tecnologia, andando ad occupare circa $5[m^2]$ di superficie.

Questo può essere fatto perché la superficie a disposizione precedentemente calcolata vale $A_{pv} = 6,43[m^2]$.

Osserviamo che ricadendo la scelta su 3 pannelli **BISOL 250Wp**, per un totale di **750W**, la potenza istantaneamente erogabile risulta essere inferiore a quella richiesta dalle utenze (870W) ma questo non significa che il calcolo sia errato dato che il principio di funzionamento dell'impianto si basa sull'accumulo di energia in batterie e non sull'erogazione istantanea.

Scelta banco batterie

In questo caso la scelta risulta obbligata.

Come già accennato in precedenza, saranno installate batterie fornite dalla FIAMM.

Non si tratta di batterie al litio, bensì di semplici “ piombo-calcio” senza manutenzione, adatte all'uso .

La scelta è dovuta, come è facile immaginare, a questioni di costi e storicità delle imbarcazioni.

Per motivi di spazio all’interno della sala macchine, occupata da macchinari anche di grosse dimensioni (quali i motori), non c’è la possibilità di realizzare un banco batterie dedicato al solo fotovoltaico.

Questo, infatti, dovrà spartirsi gli accumulatori, già impiegati su questo tipo di imbarcazione, con l’impianto elettrico pre-esistente.

La motivazione economica che avvalorata tale scelta, è dovuta all’elevato costo di batterie al litio che, in Ferretti, vengono utilizzate unicamente per il modello a propulsione ibrida.

Scelta regolatore di carica

La scelta del regolatore di carica è più complicata, essendo conseguenza delle energie che si riescono a produrre con i pannelli.

Dato che andremo ad usare **3 pannelli BISOL 250Wp** per un totale di **750Wp**, andremo ad utilizzare un regolatore di carica del tipo **TAROM-245-REGOLATORE-CARICA-45** (Figura 8.4-2):



(Figura 8.4-2)

Questo tipo di regolatore di carica è idoneo a caricare delle batterie partendo da un ingresso fotovoltaico di uno o più pannelli fino ad un totale di massimo di **540Wp** nel caso si usi una batteria a **12V**, mentre si possono collegare sino a **1080Wp** di pannelli se si usano delle batterie a **24V**.

CAPITOLO OTTAVO

Valutazione Economica

Investimento

8.1 Premessa

Al fine di realizzare una valutazione economica dell'investimento, andiamo a studiare quali sono i flussi di cassa che caratterizzano il progetto in modo da individuare entro quale periodo temporale si otterrà un ritorno economico.

Come visto nel capitolo precedente, risultano essere necessari tre pannelli, ognuno dei quali ha un costo di 386,1 € iva inclusa da catalogo on-line **Ecorete**, per un totale di 1158,3 €.

Non è dato sapere con esattezza il costo di installazione, comprensivo di strutture portanti e allacci elettrici, per cui lo approssimiamo ad una quantità pari a quella dei pannelli, cioè 1158,3 €.

Questo significa che il flusso di cassa iniziale in uscita equivale ad un totale di 2316,6 €.

È importante tenere conto, come detto anche in precedenza, che, per comprendere adeguatamente la convenienza economica della tecnologia fotovoltaica, è necessario prestare particolare attenzione ai fattori costo ed efficienza di conversione.

È prassi comune considerare nell'ambiente fotovoltaico la piena competitività di una tecnologia, rispetto alle fonti tradizionali di energia, solo quando il costo di produzione del modulo risulta inferiore a 1 €/Wp.

Nessuna delle tecnologie fino ad ora citate in questa relazione sono in grado di raggiungere tale obiettivo.

Infatti, in media, il costo minore attribuibile ad un intero sistema fotovoltaico si aggira intorno ai 5 €/Wp, valore che in Italia è decisamente superiore a quello che si ottiene dalle fonti energetiche cosiddette tradizionali.

Anche nel nostro caso si aggira attorno ai 3-4 €/Wp.

È proprio per questo che negli ultimi anni si ha una forte spinta verso lo sviluppo di un fotovoltaico innovativo, basato su tecnologie emergenti e su concetti innovativi, avendo come obiettivo quello di ottenere dispositivi a basso costo e ad alta efficienza.

VALUTAZIONE ECONOMICA INVESTIMENTO

Ad ogni modo, tornando alla valutazione economica, negli anni successivi all'esborso iniziale si presentano le seguenti:

- **Risparmio sul costo della corrente di banchina**, dal sito Enel Energia si possono ricavare informazioni riguardo al costo della corrente. In particolare, quello riguardante la trasmissione è pari a $0,176407 \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$ mentre per la distribuzione otteniamo $36,71 \left[\frac{\text{€}}{\text{anno}} \right]$.

Visto che la produzione annuale prevista è di 870 [kWh] , abbiamo un risparmio approssimabile a $190,18 \left[\frac{\text{€}}{\text{anno}} \right]$.

- **Possibili manutenzioni dell'impianto**, mediamente un impianto fotovoltaico è realizzato con pochi componenti che oltretutto richiedono una bassa manutenzione. Attraverso una semplice ispezione visiva è possibile prevenire possibili inconvenienti: rottura del vetro, deposito di sporco e rifiuti sulla superficie captante, controllo dei cablaggi, delle saldature e dei circuiti sono operazioni che possono essere effettuate visivamente.

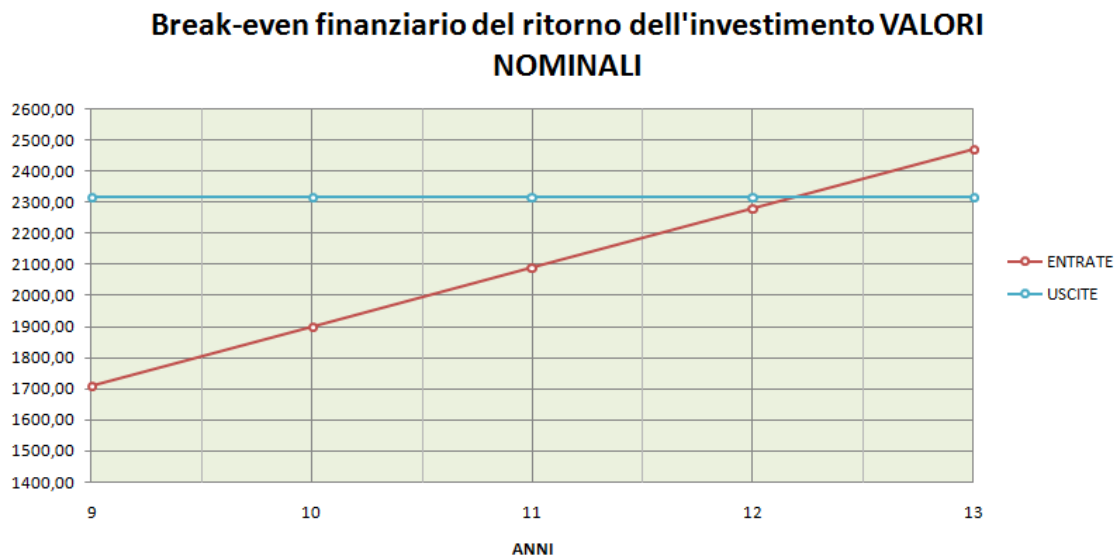
Per questo raro tipo di operazioni abbiamo previsto circa $150 \left[\frac{\text{€}}{10 \text{ anni}} \right]$.

8.2 Valutazione

Attraverso il programma Excel andiamo ora a realizzare un grafico (**Grafico 8.1-1**) che evidenzia in quale anno si ha il **Break-event Point**, cioè il momento dal quale si ha un ritorno finanziario da parte dell'investimento, attraverso lo studio dei flussi monetari (**Tabella 8.1-1**) nell'arco di 25 anni (vita utile dell'impianto).

	entrate	uscite	delta	ENTRATE SOMMA	USCITE SOMMA
0	0	2316,6	-2316,6	0,00	2316,6
1	190,18	0	190,18409	190,18	2316,6
2	190,18	0	190,18409	380,37	2316,6
3	190,18	0	190,18409	570,55	2316,6
4	190,18	0	190,18409	760,74	2316,6
5	190,18	0	190,18409	950,92	2316,6
6	190,18	0	190,18409	1141,10	2316,6
7	190,18	0	190,18409	1331,29	2316,6
8	190,18	0	190,18409	1521,47	2316,6
9	190,18	0	190,18409	1711,66	2316,6
10	190,18	150	40,18409	1901,84	2466,6
11	190,18	0	190,18409	2092,02	2466,6
12	190,18	0	190,18409	2282,21	2466,6
13	190,18	0	190,18409	2472,39	2466,6
14	190,18	0	190,18409	2662,58	2466,6
15	190,18	0	190,18409	2852,76	2466,6
16	190,18	0	190,18409	3042,95	2466,6
17	190,18	0	190,18409	3233,13	2466,6
18	190,18	150	40,18409	3423,31	2616,6
19	190,18	0	190,18409	3613,50	2616,6
20	190,18	0	190,18409	3803,68	2616,6
21	190,18	0	190,18409	3993,87	2616,6
22	190,18	0	190,18409	4184,05	2616,6
23	190,18	0	190,18409	4374,23	2616,6
24	190,18	0	190,18409	4564,42	2616,6
25	190,18	0	190,18409	4754,60	2616,6

(Tabella 8.1-1)



(Grafico 8.1-1)

Dove in ordinate sono riportate le unità monetarie ed in ascissa gli anni d'interesse.

Si nota come il punto di **Break-event Point** "cade" subito dopo i dodici anni, per cui ne saranno necessari almeno tredici per ottenere un ritorno finanziario.

Queste considerazioni, però, sono effettuate a valori **nominali**, cioè quello corrispondente al valore facciale delle banconote, dei flussi di cassa ma il valore finanziario del fattore tempo è importante e va ad incidere sul risultato economico del progetto.

Il valore di una somma di denaro decresce nel tempo e la causa principale è l'inflazione, cioè l'incremento generale dei prezzi di un'economia che va ad impoverire il potere di acquisto del denaro.

Indicando i flussi monetari con valori **reali**, andiamo a considerare il valore nel tempo equivalente a quello attuale, ottenendo il guadagno concreto dell'investimento.

Dobbiamo, quindi, attualizzare i flussi di cassa al periodo in cui otteniamo il **Break-event Point** a valori nominali, cioè a dodici anni.

Per fare ciò utilizziamo la funzione **TIR.COST** di Excel che, introducendo una serie di flussi di cassa su cui si vuole calcolare il tasso

CAPITOLO OTTAVO

di rendimento e un numero che si suppone vicino al risultato di tale calcolo, attraverso una procedura iterativa restituisce il **TIR** (tasso interno di rendimento).

Una volta ottenuto tale valore si procede al calcolo del **tasso di sconto**:

$$\text{Tasso di sconto} = \frac{1}{(1 + \text{TIR})^n}$$

Dove n sta ad indicare il periodo di tempo relativo a ciascun flusso considerato.

In questo modo è possibile tenere conto del fattore tempo, attualizzando ogni valore d'interesse.

La funzione **TIR.COST** di Excel, per i flussi di cassa dei primi tredici anni (**Tabella 8.1-2**), rende un TIR dello 0,04% e di conseguenza un tasso di sconto dello 0,999642852.

	ENTRATE	USCITE
0	0,00	2316,6
1	190,18	0
2	190,18	0
3	190,18	0
4	190,18	0
5	190,18	0
6	190,18	0
7	190,18	0
8	190,18	0
9	190,18	0
10	190,18	150
11	190,18	0
12	190,18	0
13	190,18	0

(**Tabella 8.1-2**)

Che attualizzate, cioè moltiplicate per il rispettivo tasso di sconto, valgono (**Tabella 8.1-3**):

VALUTAZIONE ECONOMICA INVESTIMENTO

	ENTRATE	USCITE	ENTRATE ATTUALIZZATE	USCITE ATTUALIZZATE
0	0,00	2316,6	0	2316,6
1	190,18	0	190,1161661	0
2	190,18	0	190,0482665	0
3	190,18	0	189,9803911	0
4	190,18	0	189,9125399	0
5	190,18	0	189,844713	0
6	190,18	0	189,7769103	0
7	190,18	0	189,7091318	0
8	190,18	0	189,6413775	0
9	190,18	0	189,5736475	0
10	190,18	150	189,5059416	149,4651379
11	190,18	0	189,4382599	0
12	190,18	0	189,3706024	0
13	190,18	0	189,302969	0
14	190,18	0	189,2353598	0
15	190,18	0	189,1677747	0
16	190,18	0	189,1002138	0
17	190,18	0	189,032677	0
18	190,18	150	188,9651643	149,0386217
19	190,18	0	188,8976757	0
20	190,18	0	188,8302113	0
21	190,18	0	188,7627709	0
22	190,18	0	188,6953546	0
23	190,18	0	188,6279624	0
24	190,18	0	188,5605943	0
25	190,18	0	188,4932502	0

(Tabella 8.1-3)

CAPITOLO OTTAVO

Per poter riuscire ad individuare il nuovo **Break-event Point** a valori **reali** ci basiamo sulla sommatoria delle entrate e quella delle uscite attualizzate (**Tabella 8.1-4**):

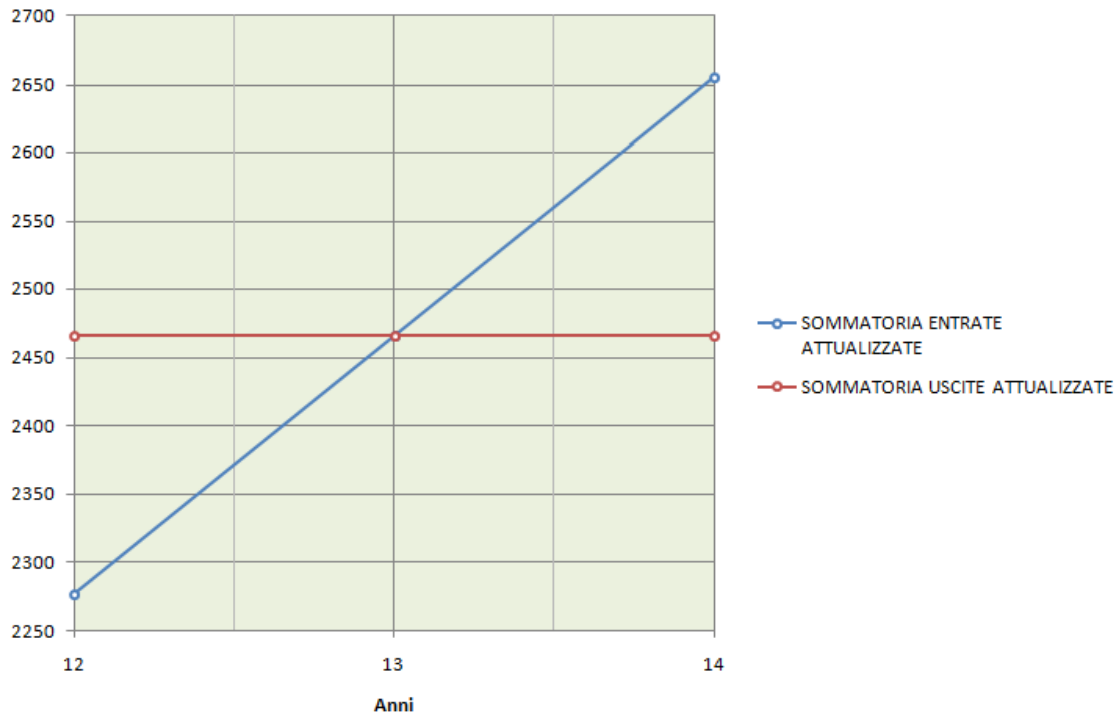
SOMMATORIA ENTRATE ATTUALIZZATE	SOMMATORIA USCITE ATTUALIZZATE
0	2316,6
190,1161661	2316,6
380,1644326	2316,6
570,1448236	2316,6
760,0573635	2316,6
949,9020765	2316,6
1139,678987	2316,6
1329,388119	2316,6
1519,029496	2316,6
1708,603144	2316,6
1898,109085	2466,065138
2087,547345	2466,065138
2276,917947	2466,065138
2466,220916	2466,065138
2655,456276	2466,065138
2844,624051	2466,065138
3033,724265	2466,065138
3222,756942	2466,065138
3411,722106	2615,10376
3600,619782	2615,10376
3789,449993	2615,10376
3978,212764	2615,10376
4166,908119	2615,10376
4355,536081	2615,10376
4544,096675	2615,10376
4732,589926	2615,10376

(**Tabella 8.1-4**)

Per cui, come è possibile osservare nel grafico (**Grafico 8.1-2**), il punto di **Break-event** si sposta da dodici anni a tredici.

Un ritorno finanziario **reale** dell'investimento lo si avrà a partire dai quattordici anni.

VALUTAZIONE ECONOMICA INVESTIMENTO



(Grafico 8.1-2)

A conclusione della valutazione è necessario analizzare se tale tempistica porti o meno un reale profitto.

Quattordici anni per pareggiare le spese di investimento risultano troppi, soprattutto viste le esigue entrate annuali, e realizzare questo tipo di impianto con lo scopo preciso di ottenerne un profitto, risulta impossibile.

Allo stesso tempo, però, bisogna tenere conto di un costante aumento, nella comune coscienza ambientale, dell'attenzione che viene riposta nel rispetto dell'ambiente e nella sua salvaguardia.

In particolare, negli ultimi anni si è registrato un esponenziale aumento di fiducia nel fotovoltaico come risposta concreta alla ricerca di fonti energetiche rinnovabili che riescano a soppiantare i combustibili fossili.

È evidente che, un armatore che spende ingenti somme di danaro per usufruire di un prodotto di lusso per poche settimane l'anno non si preoccupa minimamente di installare, in un momento successivo all'acquisto dell'imbarcazione, un impianto fotovoltaico che gli faccia risparmiare qualche centinaia di euro l'anno.

CAPITOLO OTTAVO

Per cui, l'unico interesse potrebbe nascere da parte del costruttore.

Egli vedrebbe aumentare il costo di produzione dell'imbarcazione, anche se di una quantità esigua rispetto al totale, ma, allo stesso tempo, inizierebbe a convogliare l'attenzione verso un mercato nuovo, in costante evoluzione e rinnovamento, verso il quale, negli ultimi anni, a causa della crisi che riguarda le fonti di energia tradizionali, si sta rivolgendo particolare attenzione.

Dimostrando, così, di sapere stare al passo coi tempi che cambiano e dando il via ad un nuovo campo di studio che, con gli anni e tecnologie sempre più prestazionali, potrà portare a risultati soddisfacenti, mantenendo un avanzato livello di progresso tecnologico aziendale.

Per cui, l'azienda risulta essere il soggetto che, teoricamente, da questo studio può ottenere, se non nell'immediato, nel futuro un beneficio in termini di immagine, dimostrando attenzione per il rispetto nei confronti dell'ambiente, e di progresso tecnologico, perseguendo uno studio che riguarda tecnologie considerate "del futuro" e che sono in continuo rinnovamento.

Però una valutazione appropriata, valida e specifica, che tenga conto anche di questioni economiche e di marketing, può essere realizzata unicamente dall'ufficio fattibilità dell'azienda.

La sola pretesa di questa analisi è di valutare, in prima approssimazione, la possibilità tecnica di realizzare un impianto fotovoltaico su tale imbarcazione e di analizzarne costi e benefici.

CAPITOLO NONO

Conclusioni

CONCLUSIONI

9.1 Conclusioni:

Un impianto fotovoltaico capace di produrre apprezzabili potenze, abbastanza elevate da soddisfare le utenze di una barca a pieno regime di funzionamento, necessita di superfici decisamente troppo estese che ne vanificano la fattibilità.

Opportunità ulteriormente vanificata da questioni riguardanti l'estetica, l'aerodinamica e gli spazi utili.

È stato così effettuato un calcolo che si interessa, durante la navigazione, non tanto di soppiantare quanto di affiancare il generatore a combustibile fossile e di evitare l'allaccio alla corrente di banchina quando la nave si trova in porto.

Il risultato è che, per una nave come la Itama75, tale progetto può tornare utile se si considera che è una imbarcazione da diporto, per lo più del tempo ormeggiata e che, in tal caso, l'energia d'accumulo richiesta risulta molto esigua.

È altresì verificato che un consistente ritorno economico non è raggiungibile nel breve periodo e che un investimento in tale senso deve essere adeguatamente valutato, evitando inutili sprechi di risorse.

Tale compito spetta agli uffici che studiano la fattibilità dell'investimento.

Facendo leva sulla crescente attenzione che il pubblico rivolge ad argomenti quali fotovoltaico e, più in generale, ai temi riguardanti la salvaguardia dell'ambiente, considerando poi anche il basso incremento di costo di produzione dell'imbarcazione dovuto all'installazione dell'impianto, che non va ad incidere in maniera rilevante sul costo della nave finita, è possibile valutare positivamente tale studio, soprattutto pensando alle evoluzioni future di questa tecnologia, sempre in continuo rinnovamento.

Per cui si può pensare di installare **tre** pannelli fotovoltaici, nello specifico vengono suggeriti i **BISOL 250Wp**, che saranno in grado di evitare l'allaccio a banchina e, in buona parte, di assistere nella ricarica delle batterie.

CONCLUSIONI

Ad ogni modo, gli sviluppi futuri saranno quelli di identificare i costi reali di installazione per poter effettuare uno studio di fattibilità completo.

Intendo fare i più sentiti ringraziamenti al professore Augusto Bianchini per il supporto didattico, conoscitivo e tecnologico apportato, nonché a Marco Bombardini ed Alessandro Sali dell'ufficio A.Y.T. per lo scambio di informazioni ed il supporto conoscitivo, l'aiuto dei quali è stato fondamentale ai fini dello studio di questa relazione.

A conclusione del ciclo di studi, un pensiero è per tutti coloro che mi hanno accompagnato e spronato in questi anni.

Ringrazio Paola, Gabriele ed Emanuel per la spropositata fiducia.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

DOCUMENTAZIONE ON-LINE

- “Catalogo prodotti Ecorete per nautica”, presso il sito www.ecorete.it
All’indirizzo:
http://www.ecorete.it/commerce.php?codicecategoria=*pannelli-nautica-yacht-imbarcazioni*
- “Listino prezzi corrente”, dal sito di Enel Energia

DOCUMENTAZIONE TESTI

- A. Borello, *Il Business Plan, dalla valutazione dell’investimento alla misurazione dell’attività d’impresa*, Edizioni McGraw-Hill.
- A. Scognamiglio, P. Bosisio, V. Di Dio, P. Delli Veneri, S. Favuzza, L. Lancellotti, L.V. Mercaldo, C. Privato e G. Zizzo, *Fotovoltaico negli edifici. Dimensionamento, progettazione e gestione degli impianti*, Edizioni Ambiente.

CATALOGHI

- “ALIMPOMP/F” e “SANIPOMP/W”, documenti che curano le caratteristiche tecniche di alcuni tipi di tubazioni prodotti dalla HOSES TECHNOLOGY
- “Galleggianti flottanti”, documento che cura le caratteristiche tecniche dei galleggianti prodotti dalla RULE

- “Jabsco Puppy 2000”, documento che cura le caratteristiche tecniche della pompa prodotta da Jabsco Marine
- “Marco UP2000”, documento che cura le caratteristiche tecniche della pompa prodotta dalla Marco S.p.a.
- “Gianneschi CP30”, documento che cura le caratteristiche tecniche della pompa prodotta da Gianneschi-Pump and Blowers
- “Steca”, documento che cura le caratteristiche tecniche del regolatore di corrente prodotto dalla STECA

LEGISLAZIONI

- UNI EN ISO 15083 del 2004
- UNI EN ISO 8849 del 2004
- UNI EN ISO 9093 del 1998