

00	07-2009	PROGETTO DEFINITIVO - S.I.A.	DAIDONE	SARACENO	CAMPANELLA
REV.	DATA	DESCRIZIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO



FOUR WIND S.R.L.

Via Nunzio Morello n. 40 - 90144 PALERMO
 Tel/Fax +39 091 7829785 - +39 091 7829080
 e-mail: info@4wind.it - <http://www.4wind.it>
 P.I. / C.F. 05593830820

Project Manager:
Ing. Vito Aurelio Campanella



**C. & C. Consulting
 engineering S.r.l.**

Collaboratori:
 Ing. Calogero Cutaia
 Dott. Dario Modica



Q.I.S. S.r.l.

Collaboratori:
 Geom. Calogero Barletta
 Ing. Salvatore Cocciola
 Dott.ssa Bernadette Labruzzo
 Ing. Paolo G. Oieni
 Ing. Daniele Ventura

ELABORATO N°
 PDT/R/0/EL/002



3E Ingegneria S.r.l.

Progetto elettrico

FORMATO ELABORATO: A4

REV.	00																		
------	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**PARCO EOLICO - STRETTO DI SICILIA
 BANCO DI TALBOT**

PROGETTO DEFINITIVO

SOSTITUISCE IL

**Electric Service Platform offshore
 Relazione tecnico-descrittiva**

SOSTITUITO DAL



**INDICE**

1	SCOPO DEL LAVORO	2
2	ELECTRIC SERVICE PLATFORM OFFSHORE.....	3
2.1	Descrizione dell'opera	3
2.2	Installazione della ESP.....	6
3	HVDC LIGHT.....	7
3.1	HVDC Light per la generazione di energia da impianti eolici	8
3.2	Potenza da e per piattaforme Offshore.....	11
3.3	Concetto modulare.....	11
3.4	Presenza di armoniche.....	14
3.5	Trasformatore di potenza.....	14
3.6	Reattori convertitori.....	15
3.7	Condensatori in corrente continua.....	15
3.8	Filtri lato corrente alternata.....	16
3.9	Filtri lato corrente continua	16
3.10	Filtri ad alta frequenza	16
3.11	Valvole.....	16
3.12	Funzionamento da valvola	17
3.13	Ponte a valvole.....	17
3.14	Progettazione meccanica	18
3.15	Sistema di raffreddamento delle valvole.....	18
3.16	Sistema di potenza dei servizi di stazione.....	20
3.17	Commutazione automatica	20
3.18	Protezione antincendio	21
3.19	Costruzione, installazione e opere civili	22
3.20	Ubicazione interna	22
3.21	Tempistica	23
3.22	Test e ispezione del sito	23
3.23	Disponibilità e manutenzione.....	24
3.24	Impatto ambientale	24
3.25	Campi magnetici.....	24
3.26	Perdite elettriche.....	25

ALLEGATI

PDT/T/0/ESPM/001 Electric Service Platform offshore - Pianta e prospetti



PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	1	25

 3E Ingegneria S.r.l. PISA	Parco Eolico – Stretto di Sicilia Banco di Talbot OGGETTO / SUBJECT	 FOUR WIND S.R.L. CLIENTE / CUSTOMER
---	---	---

1 SCOPO DEL LAVORO

Scopo del presente documento è quello di illustrare le caratteristiche costruttive e tecniche della Electric Service Platform offshore (*ESP offshore*) del parco eolico denominato **Banco di Talbot**. Tale stazione elettrica verrà installata sul Banco Talbot Est al fine di raccogliere l'energia prodotta dagli aerogeneratori dei Banchi *Talbot Est* e *Talbot Ovest*, costituenti il Banco di Talbot, per poi trasformarla in corrente continua e convogliarla alla terraferma fino alla stazione di riconversione da corrente continua ad alternata (*ESP onshore*) e da qui alla stazione elettrica della RTN di Partanna.

PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	2	25

 <p>3E Ingegneria S.r.l. PISA</p>	<p>Parco Eolico – Stretto di Sicilia Banco di Talbot</p> <p>OGGETTO / SUBJECT</p>	 <p>FOUR WIND S.R.L. CLIENTE / CUSTOMER</p>
---	---	---

2 ELECTRIC SERVICE PLATFORM OFFSHORE

2.1 Descrizione dell'opera

La ESP offshore sarà installata sul versante Est del Banco Talbot Est, in corrispondenza della batimetrica dei -50 m, e farà da nodo di interconnessione comune per tutti gli aerogeneratori della centrale. Questi vi saranno connessi tramite un sistema di cavi sottomarini a 33 kV a sua volta collegato agli interruttori e i trasformatori ubicati nella ESP. La trasmissione alla terraferma avverrà tramite un sistema di cavi in corrente continua a 150 kV. A tal fine è necessario che nella ESP sia installato un sistema di conversione da corrente alternata a continua.

Per l'impianto in questione è previsto l'utilizzo della soluzione **HVDC Light di ABB**, disponibile in due versioni differenti: sistema *HVDC Light simmetrico* e sistema *HVDC Light asimmetrico*.

La soluzione simmetrica prevede, per la trasmissione della corrente alla terraferma, l'impiego di due cavi di polo in corrente continua. Nel caso di sistema asimmetrico, oltre ai due cavi di polo è previsto un terzo cavo in corrente continua in media tensione a 20 kV (*ritorno metallico*). Tal sistema, certamente più costoso del sistema *simmetrico* (in cui non è previsto il terzo cavo MT) è vantaggioso dal punto di vista della disponibilità, poiché è in grado di funzionare anche in modalità monopolare. In tal modo viene dunque garantita la trasmissione di parte dell'energia dalla centrale eolica anche in caso si verifichi un guasto ad uno dei due cavi di polo. La scelta tra sistema *HVDC Light simmetrico* o *asimmetrico* verrà operata in fase di progettazione esecutiva.



Nel caso di impiego della soluzione simmetrica, verrà adottato il modulo M5 (v. Tabella 3.1) da 373 MVA sufficienti per il parco eolico in progetto, caratterizzato da una potenza nominale di 354 MW. Nel caso si opti per la soluzione asimmetrica, verranno adottati due moduli con convertitore asimmetrico M2A da 186,5 MVA, analogo al modulo M5 (v. Tabella 3.2).

La ESP comprenderà in particolare:

- una sezione AT a 150 kV in corrente alternata costituita da:

- un sistema a semplice sbarra con congiuntore;
- uno stallo trasformatore per il collegamento dei trasformatori 33/150 kV;

PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	3	25

 <p>3E Ingegneria S.r.l. PISA</p>	<p>Parco Eolico – Stretto di Sicilia Banco di Talbot</p> <p>OGGETTO / SUBJECT</p>	 <p>FOUR WIND S.R.L. CLIENTE / CUSTOMER</p>
---	---	---

- filtri per le armoniche lato AC;
- una sezione AT a 150 kV in corrente continua costituita da:
 - filtri per le armoniche lato DC;
 - i reattori di conversione;
 - il ponte a valvole;
 - n°2 stalli arrivo linee per il collegamento dei due cavi sottomarini e n°1 stallo per il collegamento del cavo di ritorno metallico, qualora previsto;
- una sezione MT a 33 kV costituita da una quadro generale di media tensione, composto da due semisbarre con congiunture, ove verranno attestate le 10 linee in cavo MT provenienti dai relativi sottocampi, ciascuna di essa dotata di dispositivo di protezione e sezionamento;
- una sala di controllo comprendente i quadri manovra dei suddetti stalli, nonché il sistema di monitoraggio, controllo e diagnostica dell'intero sistema;
- un'area di appoggio interna per le attrezzature durante il periodo di manutenzione della centrale eolica;
- un'area sulla sua sommità che potrà essere utilizzata anche come piattaforma di atterraggio per gli elicotteri.

Come illustrato in figura 2.1 e nella tavola **PDT/T/0/ESPM/001** allegata, la ESP sarà una piattaforma di tipo fisso con un telaio di rivestimento a sei pilastri per l'ancoraggio della piattaforma al fondo del mare.



La piattaforma sarà composta da una sovrastruttura in acciaio di circa 30 metri per 40 metri ed una altezza di circa 20 m e sarà collocata a circa 12 metri sopra il livello medio di bassa marea.

La ESP comprenderà la disposizione dei cavi con i relativi interruttori a protezione del sistema a 33 kV. Tali interruttori saranno organizzati in 10 salite al quadro MT, (5 ad una semisbarra e 5 all'altra); ciascuna semisbarra sarà collegata ad uno dei 2 trasformatori elevatori a 33/150 kV, connesso alla stazione di conversione per la trasmissione dell'energia alla terraferma in c.c.

Le operazioni di gestione del parco saranno automatizzate e controllate da remoto tramite l'unità elettronica di supervisione, controllo e acquisizione dati (SCADA).

Oltre alle apparecchiature elettriche, la ESP includerà le protezioni antincendio, i generatori di emergenza e altri sistemi ausiliari, quali:

PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	4	25

 3E Ingegneria S.r.l. PISA	Parco Eolico – Stretto di Sicilia Banco di Talbot OGGETTO / SUBJECT	 FOUR WIND S.R.L. CLIENTE / CUSTOMER
---	---	---

- sistemi di ventilazione;
- sistemi di sicurezza;
- sistemi di comunicazione;
- gli alloggi temporanei per il personale e relativi servizi. Gli alloggi sono da intendersi per condizioni di emergenza e per ridotti periodi in cui gli equipaggi sono costretti a stazionare sulla ESP per ragioni meteorologiche.

La ESP sarà rivestita con vernice simile a quella utilizzata per gli aerogeneratori. Tutte le apparecchiature saranno ubicate all'interno di una zona protetta dalle intemperie.

La manutenzione, ed in generale l'accesso alla ESP, sarà normalmente effettuata tramite un'imbarcazione di servizio che potrà attraccare alla struttura in una zona apposita servita da scale per permettere al personale di raggiungere la sede di lavoro.

Al fine di consentire il raggiungimento e l'evacuazione per motivi di emergenza della piattaforma anche quando le condizioni del mare non lo consentono, è previsto l'uso del tetto come piattaforma di atterraggio per gli elicotteri.

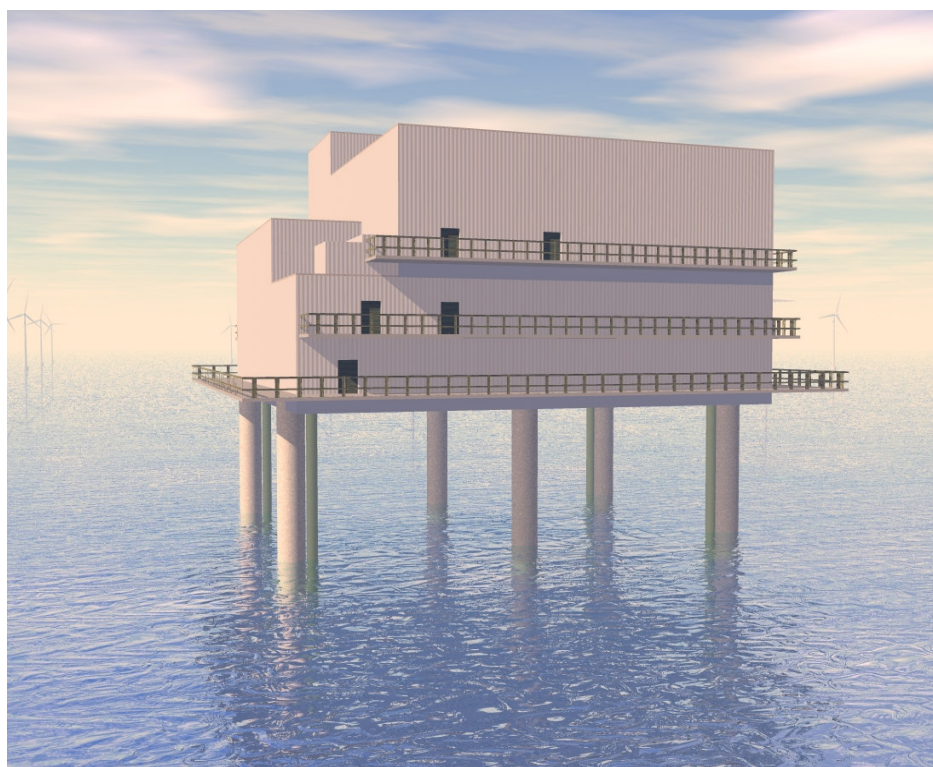


Figura 2.1 – esempio di ESP offshore

PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	5	25



2.2 Installazione della ESP

Il telaio di rivestimento della piattaforma sarà interamente costruito a terra e trasportato al cantiere tramite chiatte.

Il telaio verrà rimosso dalla chiatte tramite una gru di sollevamento montata su una chiatte separata dalla precedente. La struttura così assemblata sarà immersa nel mare e livellata, e infine infissa al fondale.

L'installazione della sovrastruttura sarà effettuata tramite sollevamento da chiatte e posizionamento sul telaio. Dopo averla posizionata, saranno collegate ulteriori componenti comprese scale, eliporto e attracco delle navi, anch'esse trasportate tramite chiatte. Il trasferimento sulla ESP delle attrezzature e del materiale sarà effettuato tramite una gru montata sulla ESP stessa.

Una volta completata l'installazione, si procederà al posizionamento e collegamento del sistema di cavi e quadri MT ed AT.



Figura 2.2 – esempio di pontone impiegato per l'installazione di una ESP offshore

PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	6	25



3 HVDC LIGHT

HVDC Light è il sistema orientato all'ambiente per la trasmissione di potenza con cavo sottomarino, cavo sotterraneo o trasmissione back-to-back.

HVDC Light è la tecnologia HVDC (High Voltage Direct Current) basata sui convertitori di tensione (VSC, Voltage Source Converters) disponibile da poche decine di megawatt fino a diverse centinaia di megawatt.

I convertitori sono basati sugli Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) e operano con impulsi ad alta frequenza modulati in ampiezza al fine di conseguire un'alta velocità di conversione e, di conseguenza, necessità di filtri di grandezza minore, garantendo il controllo indipendente sia della potenza attiva che reattiva.

I cavi utilizzati nel sistema HVDC Light sono di tipo ad isolamento estruso in polimeri. La loro resistenza e flessibilità rendono i cavi HVDC Light adatti all'installazione in condizioni particolarmente gravose sia per cavi sotterranei sia per quelli sottomarini.

Il sistema progettato da ABB permette di controllare rapidamente sia la potenza attiva che reattiva indipendente l'una dall'altra, per garantire la stabilità di tensione e frequenza.



L'HVDC Light si basa su un concetto modulare. Per tensioni fino a ± 150 kV, la maggior parte delle attrezzature sono installate nei propri involucri alla fabbrica. Per valori più alti di tensione, le apparecchiature sono installate nei fabbricati in sito. Anche le dimensioni dell'area del sito necessaria per la stazione di conversione sono minori rispetto ai normali sistemi HVDC.

Le stazioni sono progettate per essere non presidiate poiché possono essere gestite da remoto o in automatico, in base alle esigenze di esercizio.

Per ciò che concerne la manutenzione, essa riguarda principalmente le apparecchiature convenzionali quali interruttori, l'impianto di raffreddamento del sistema, ecc.

Per quanto riguarda i cavi, questi sono di tipo bipolare con un cavo a polarità positiva ed uno a polarità negativa. Come già accennato si prestano bene all'installazione in condizioni particolarmente gravose, per cui i cavi sottomarini possono essere posati in acque profonde e su fondali grezzi; i cavi terrestri possono essere installati a costi minori usando la tecnica di aratura; senza escludere la possibilità di utilizzare cavi aerei per i collegamenti che lo necessitano.

PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	7	25

 <p>3E Ingegneria S.r.l. PISA</p>	<p>Parco Eolico – Stretto di Sicilia Banco di Talbot</p> <p>OGGETTO / SUBJECT</p>	 <p>FOUR WIND S.R.L. CLIENTE / CUSTOMER</p>
---	---	---

I benefici per l'ambiente sono:

- Campi magnetici trascurabili, in quanto i cavi in corrente continua sono posti a coppie percorse da correnti in direzioni diverse per cui l'effetto di ciascuna corrente tende ad annullarsi;
- Assenza di rischio di fuoriuscita di olio rispetto ai comuni cavi isolati in carta ed olio, in quanto si utilizzano cavi in polietilene, notoriamente non pericolosi per l'ambiente;
- I metalli contenuti nei cavi possono essere riciclati una volta dimessi.

3.1 HVDC Light per la generazione di energia da impianti eolici

HVDC Light è un sistema di trasmissione che ha caratteristiche adatte al collegamento di grandi impianti eolici alle reti, anche a punti deboli di queste.

Contrariamente al caso di potenze immesse in rete con sistemi di trasmissione convenzionali, il sistema HVDC Light non richiede alcuna compensazione supplementare, in quanto tale compensazione è insita nei convertitori. Risulta pertanto un eccellente strumento per immettere l'energia eolica in rete.

Volendo comparare il sistema HVDC Light di ABB (v. Figure 3.1 e 3.2) con un convenzionale HVDC ed entrambi con un sistema di trasmissione in corrente alternata, i vantaggi sono:

Rispetto alla corrente alternata:

- Nessun limite alla lunghezza dei cavi imposta dalla capacità di questi nel caso di corrente alternata;
- Non sono necessarie stazioni intermede di connessione;
- Non c'è incremento delle capacità di rete;
- Minore invecchiamento dei cavi;
- Nessuna compensazione di potenza reattiva necessaria.

Rispetto ad un HVDC convenzionale (v. Figura 3.3):

- Ingombro ridotto;
- Maggior controllo del sistema di conversione, grazie all'utilizzo di IGBT controllati in ampiezza, rispetto ai normali tiristori.

PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	8	25

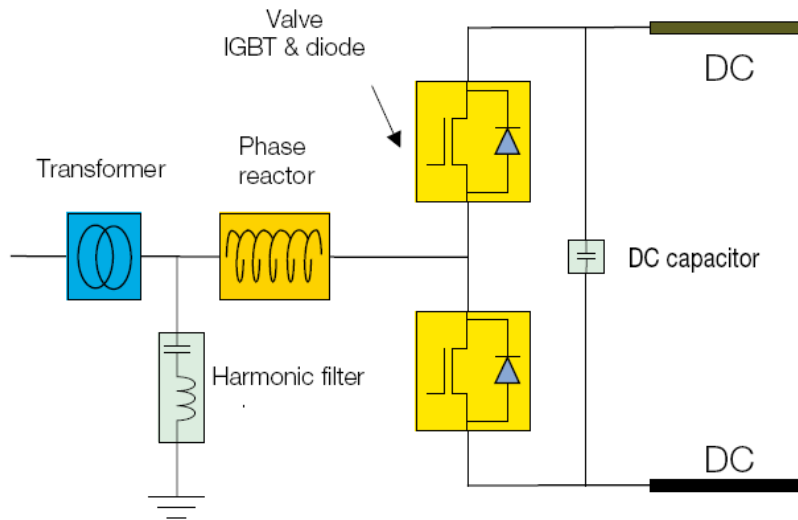


Figura 3.1 – Schema unifilare semplificato per l’HVDC Light simmetrico

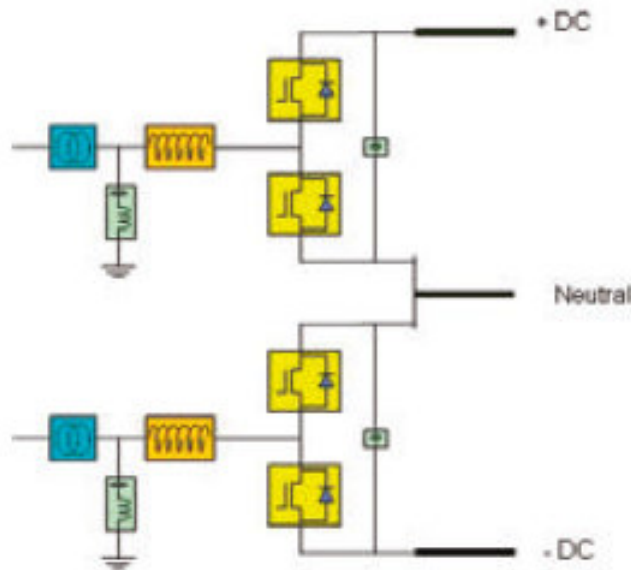


Figura 3.2 – Schema unifilare semplificato per l’HVDC Light asimmetrico

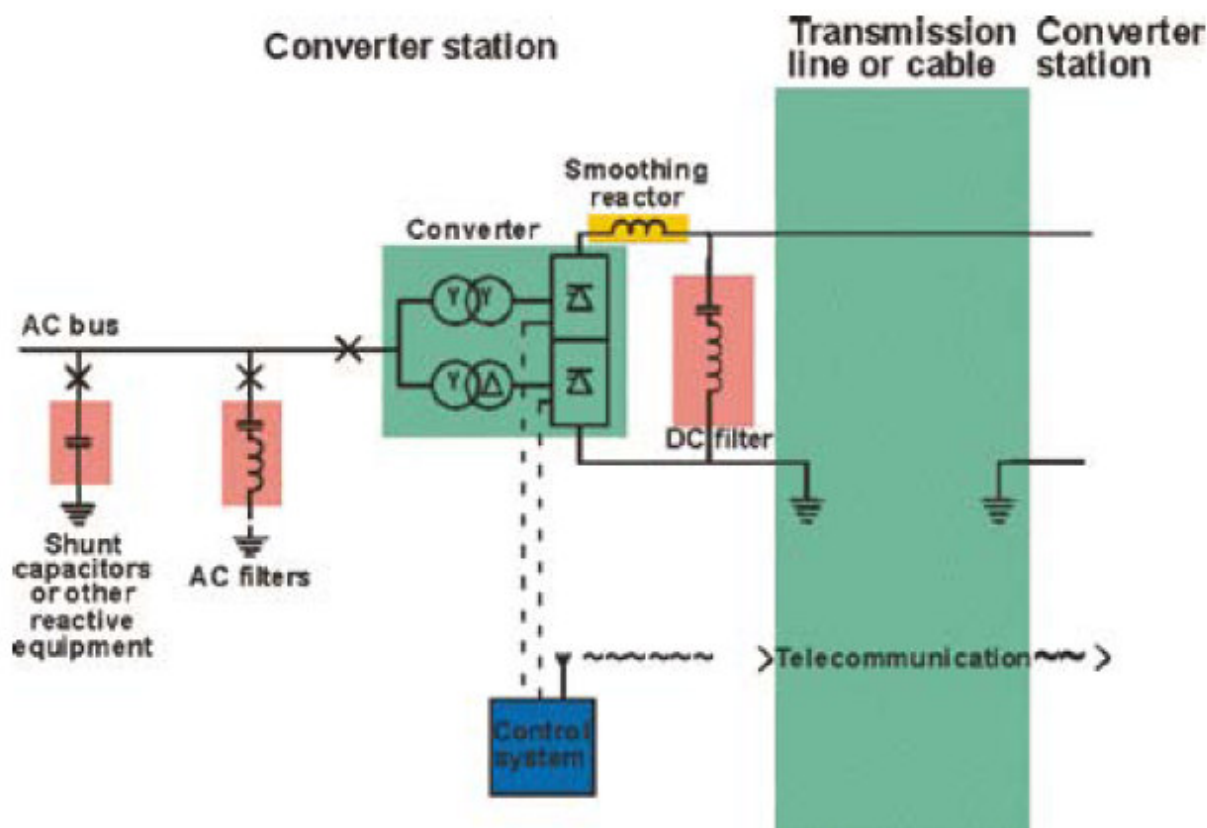




Figura 3.3 – Schema unifilare semplificato per un HVDC convenzionale

Riassumendo, le caratteristiche che portano alla scelta del sistema HVDC Light di ABB sono:

- Supporto della rete in corrente alternata:
 - Controllo rapido della potenza attiva e reattiva indipendentemente l'una dall'altra;
 - Nessuna compensazione reattiva necessaria (sono necessari solo piccoli filtri per le armoniche);
 - Utilizzo di trasformatori in corrente alternata convenzionali;
 - Possibilità di eliminare l'effetto flicker e filtrare determinate armoniche nelle reti in corrente alternata ai quali viene collegato.

 3E Ingegneria S.r.l. PISA	Parco Eolico – Stretto di Sicilia Banco di Talbot OGGETTO / SUBJECT	 FOUR WIND S.R.L. CLIENTE / CUSTOMER
---	---	---

- Interramento dei cavi:
 - Nessun impatto visibile rispetto alle linee aeree;
 - Assenza di campi elettromagnetici;
 - Assenza di rumore acustico, a differenza delle linee aeree in AT.

- Ingombro:
 - Minore spazio richiesto per MW installato rispetto agli HVDC convenzionali;
 - Ubicazione interna - riduzione del rischio di scarica;
 - Minor occupazione di spazio e peso, determinanti per gli impianti off-shore.

- Impatto ambientale:
 - Assenza di campi elettromagnetici nei cavi;
 - Rumorosità ridotta essendo gli apparati al chiuso;
 - Dimensioni ridotte.

3.2 Potenza da e per piattaforme offshore

Il sistema HVDC Light rende possibile scambiare potenza con piattaforme offshore offrendo un piccolo ingombro e una bassa potenza di corto circuito.



Le più importanti caratteristiche per quanto riguarda l'installazione dell'impianto offshore di ABB, sono la riduzione di peso e il volume dell'impianto di conversione. Quest'ultimo si trova all'interno di un modulo in ambiente controllato; ciò rende possibile la progettazione di convertitori ancora più piccoli rispetto ai quelli dei normali impianti eolici terrestri.

3.3 Concetto modulare

Il concetto modulare delle valvole IGBT ed i livelli standard di tensione dei cavi di trasmissione in corrente continua, permettono di avere diversi livelli di potenza e le configurazioni più adatte ad ogni applicazione.

Le varie configurazioni mirano a fornire la soluzione più economica. I livelli di tensione continua sono in linea con le tensioni stabilite per i cavi di ABB (HVC), ad es. 80 kV, 150 kV e 300 kV. Le correnti scelte nelle valvole sono in linea con la gamma di semiconduttori ABB. I semiconduttori IGBT di ABB sono modulari

PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	11	25

 3E Ingegneria S.r.l. PISA	Parco Eolico – Stretto di Sicilia Banco di Talbot	 FOUR WIND S.R.L. CLIENTE / CUSTOMER
	OGGETTO / SUBJECT	

anch'essi, ad es. le parti attive, gli IGBT e i diodi, sono organizzati in sotto-moduli. Ogni sotto-modulo comprende sei IGBT e tre diodi. Di seguito sono riportati i datasheet dei moduli a 150 kV.

Converter types		M4	M5	M6
Max. DC voltage (pole to ground)	kV	150	150	150
Base power	MVA	190	373	570
DC current (I_{dc})	A	627	1233	1881

Tabella 3.1 – Datasheet dei moduli HVDC Light simmetrici da 150 kV

Converter types		M1A	M2A	M3A
Max. DC voltage (pole to ground)	kV	150	150	150
Base power per pole	MVA	94.6	186.5	285
DC current (I_{dc})	A	627	1233	1881

Tabella 3.2 – Datasheet dei moduli HVDC Light asimmetrici da 150 kV

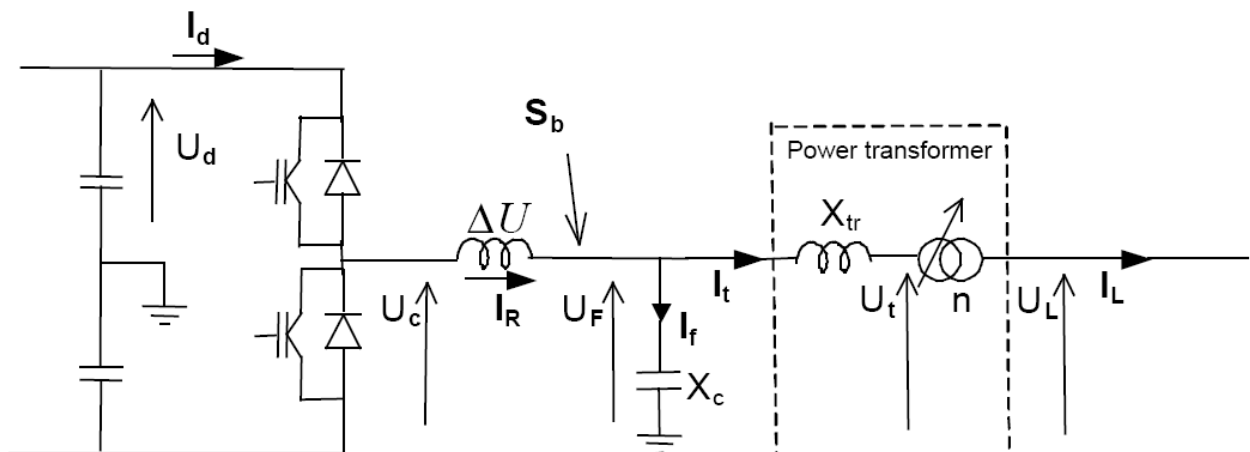


Figura 3.4 - Schema semplificato dell'impianto modulare.

Cambiando l'angolo di fase tra la tensione ai capi del filtro U_F e la tensione ai capi del convertitore U_C , si varia il flusso di potenza attiva tra il convertitore e il filtro e, di conseguenza, tra il convertitore e la rete in corrente alternata.

Cambiando l'ampiezza della differenza tra la tensione ai capi del filtro U_F e la tensione ai capi del convertitore U_C si ha la possibilità di controllare il flusso di



3E Ingegneria S.r.l.

PISA

Parco Eolico – Stretto di Sicilia
Banco di Talbot

OGGETTO / SUBJECT



FOUR WIND S.R.L.

CLIENTE / CUSTOMER

potenza reattiva tra il convertitore e il filtro e, di conseguenza, tra il convertitore e la rete in corrente alternata.

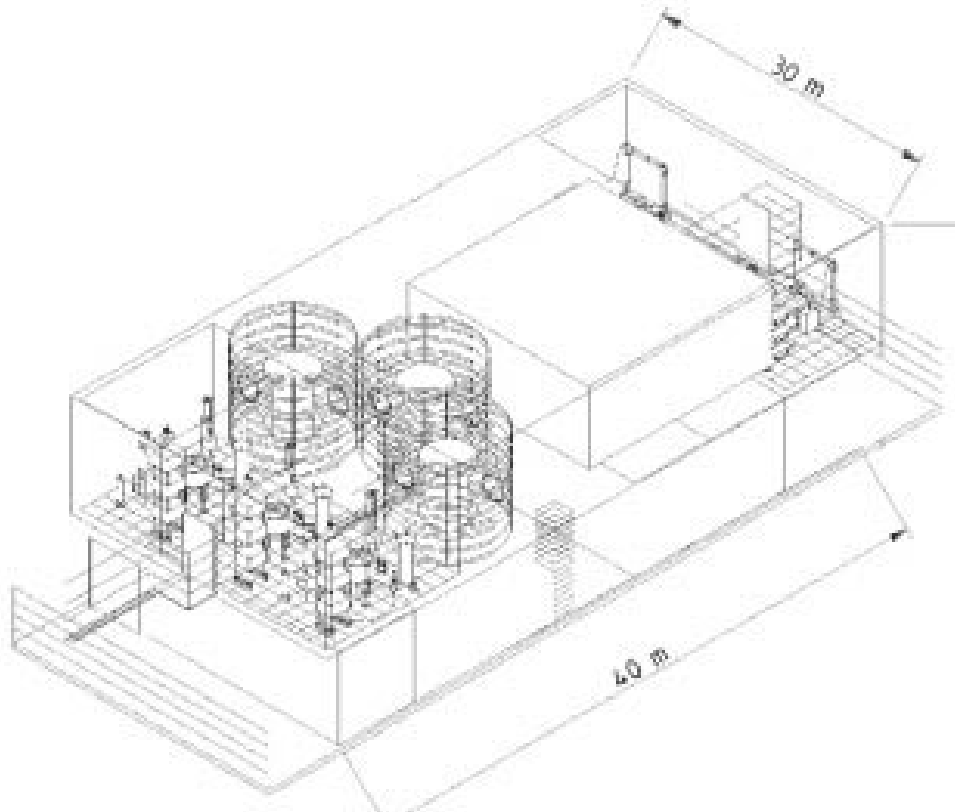


Figura 3.5 - Layout tipico di una ESP da 350 MW di dimensioni: 40x30x20 metri

PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	13	25

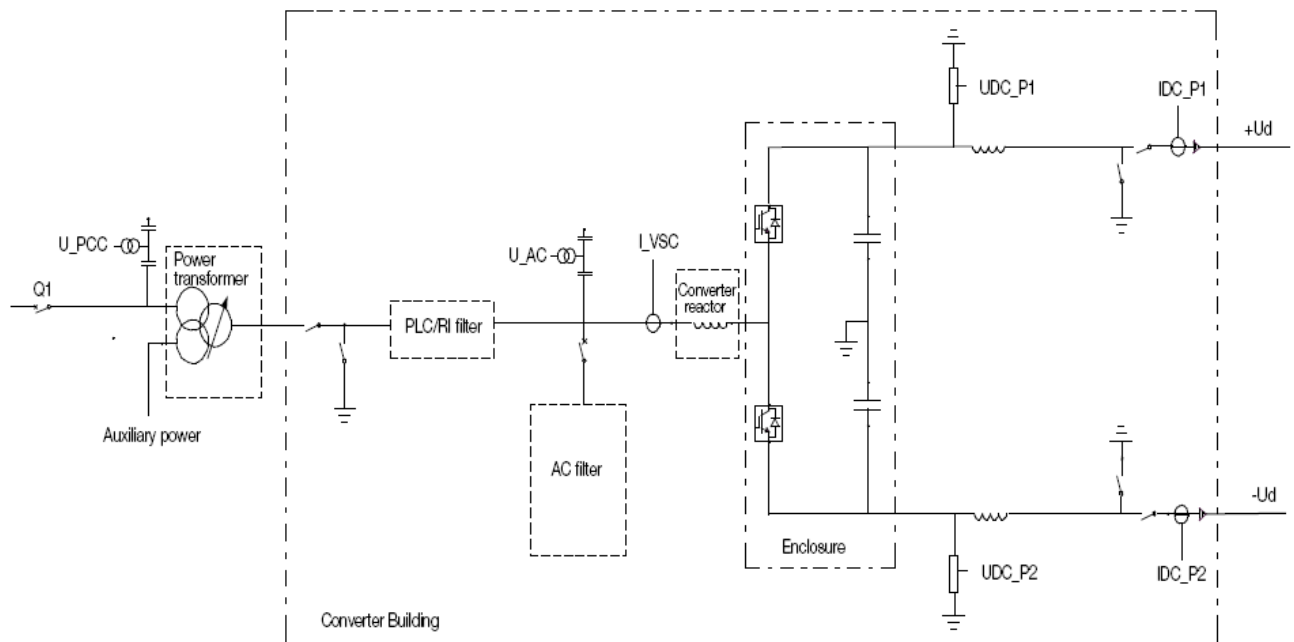


Figura 3.6 - Schema unifilare di un convertitore HVDC Light



3.4 Presenza di armoniche

L'utilizzo di opportuni filtri consente di evitare l'immissione di armoniche alla rete alla quale si collega il sistema HVDC Light.

3.5 Trasformatore di potenza

Il trasformatore è un normale trasformatore di potenza monofase o trifase, con variatore di rapporto. La tensione secondaria è controllata con il variatore di rapporto al fine di raggiungere il massimo trasferimento di potenza attiva e reattiva dal convertitore.

Gli avvolgimenti del trasformatore sono quasi privi di armoniche e non sono sottoposti ad alcuna tensione continua. Al fine di massimizzare il trasferimento di potenza attiva, il convertitore genera una tensione omopolare a bassa frequenza (<0.2 pu), che viene bloccata dall'avvolgimento secondario del trasformatore avente il neutro isolato da terra. Il trasformatore può essere fornito con un avvolgimento terziario per l'alimentazione dei servizi ausiliari di stazione.

 <p>3E Ingegneria S.r.l. PISA</p>	<p>Parco Eolico – Stretto di Sicilia Banco di Talbot</p> <p>OGGETTO / SUBJECT</p>	 <p>FOUR WIND S.R.L. CLIENTE / CUSTOMER</p>
---	---	---

3.6 Reattori convertitori

Il reattore convertitore è uno dei componenti chiave in un convertitore di tensione al fine di consentire il controllo continuo e indipendente di potenza attiva e reattiva.

I principali scopi di tale componente sono:

- Fornire il filtraggio passa-basso del campione PWM (Pulse Wide Modulation) al fine di ottenere il desiderato valore della tensione alla frequenza fondamentale. Il convertitore genera armoniche relative alla frequenza di commutazione. Le correnti armoniche sono bloccate dal reattore convertitore e il contenuto di armoniche lato corrente alternata è ridotto per mezzo di un filtro in corrente alternata;
- Consentire il controllo della potenza attiva e reattiva;
- Limitare la corrente di cortocircuito.

Vi è un reattore convertitore per fase. Si tratta di bobine verticali, poste su isolatori alti diversi metri ed aventi diversi metri di diametro. Il campo magnetico all'esterno delle bobine è eliminato tramite schermatura.

La tensione di cortocircuito del reattore convertitore è di solito pari al 15%.



La capacità di servizio del reattore dovrebbe essere mantenuta al livello più basso possibile, al fine di ridurre al minimo l'accoppiamento armonico, lato filtro, del reattore. L'elevato gradiente dV/dt sul terminale ad ogni commutazione si tradurrà in impulsi di corrente attraverso tutte le capacità verso terra. Poiché questi impulsi di corrente passano attraverso le valvole essi dovrebbero essere ridotti al minimo. La parte lato filtro del reattore può essere considerata a terra alle alte frequenze e la capacità del reattore deve pertanto essere bassa.

Questi requisiti hanno portato alla progettazione di reattori convertitori aventi bobine in aria e prive di nucleo in ferro.

3.7 Condensatori in corrente continua

Il fine principale del condensatore di valvola lato corrente continua è di fornire un percorso a bassa induttanza per la corrente di spegnimento delle valvole e anche di immagazzinare energia. Il condensatore riduce inoltre le onde armoniche sulla tensione diretta. Disturbi nel sistema (es. guasti lato corrente alternata) causano variazioni nella tensione continua. La possibilità di limitare queste variazioni di tensione dipende dalle dimensioni del condensatore lato corrente continua. Il

PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	15	25

 <p>3E Ingegneria S.r.l. PISA</p>	<p>Parco Eolico – Stretto di Sicilia Banco di Talbot</p> <p>OGGETTO / SUBJECT</p>	 <p>FOUR WIND S.R.L. CLIENTE / CUSTOMER</p>
---	---	---

condensatore lato corrente continua è un condensatore ABB DryHED avente le seguenti principali caratteristiche:

- Capacità doppia, in metà volume;
- Bassa induttanza;
- Basso tempo di produzione e facilità di installazione.

3.8 Filtri lato corrente alternata

I convertitori di tensione sono in grado di lavorare con differenti schemi di controllo, la maggior parte dei quali utilizzano impulsi modulati in ampiezza per controllare il rapporto tra le tensioni lato corrente continua e lato alternata alla frequenza fondamentale. Sul lato corrente alternata dei terminali del convertitore, la tensione verso terra non sarà sinusoidale a causa del contenuto armonico. Il collegamento alla rete prevede che la tensione sia sinusoidale e ciò è assicurato per mezzo del reattore convertitore e dei filtri lato corrente alternata.

3.9 Filtri lato corrente continua

Per i convertitori HVDC Light in combinazione con i cavi HVDC Light, il filtraggio sul lato continua fatto dal condensatore su tale lato del convertitore e la reattanza di livellamento sul lato continua è considerato sufficiente per la soppressione delle armoniche.

3.10 Filtri ad alta frequenza

Nei convertitori di tensione, il gradiente dV/dt è necessariamente elevato a causa della commutazione delle valvole e ciò implica un'elevata generazione di rumore ad alta frequenza significativamente più alto rispetto ai convenzionali convertitori HVDC. Per prevenire la diffusione di questo rumore ad alta frequenza dal convertitore alla rete di potenza, particolare attenzione è dedicata alla progettazione delle valvole, alla schermatura e ad assicurare efficaci collegamenti a terra per l'alta frequenza.

3.11 Valvole

I semiconduttori utilizzati in HVDC Light sono gli StakPak IGBT prodotti da ABB Semiconductors. Come dispositivo di conduzione il transistor bipolare, con la sua bassa caduta di tensione diretta, è usato per la gestione di alte correnti. A

PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	16	25



differenza dei normali dispositivi controllati in corrente, l'IGBT ha un gate capacitivo controllato in tensione, come nei dispositivi MOSFET.

Per aumentare la potenza controllata, sei IGBT e tre diodi sono collegati in parallelo in un sotto-modulo. Uno StakPak IGBT ha due, quattro o sei sotto-moduli, che determinano il valore della corrente gestibile dall'IGBT.

3.12 Funzionamento da valvola

Al fine di commutare tensioni superiori rispetto alla tensione nominale di un IGBT, diverse posizioni sono collegate in serie in ogni valvola. La cosa più importante è che tutti gli IGBT si attivino e disattivino esattamente allo stesso momento, al fine di realizzare una distribuzione uniforme di tensione in tutta la valvola.

La flessibilità dell'IGBT come dispositivo semiconduttore rende anche possibile bloccare immediatamente la corrente se vi è un corto circuito, al fine di evitare danni al convertitore. Una singola valvola per un modulo da 150 kV consiste in circa 300 IGBT collegati in serie.

3.13 Ponte a valvole

HVDC Light si basa su un tipologia a due livelli, il che significa che l'output è scambiato tra due livelli di tensione. Ogni fase ha due valvole, una tra il potenziale positivo e la presa di fase e uno tra l'uscita e il potenziale negativo (v. Figura 3.7). In questo modo un convertitore trifase ha sei valvole.

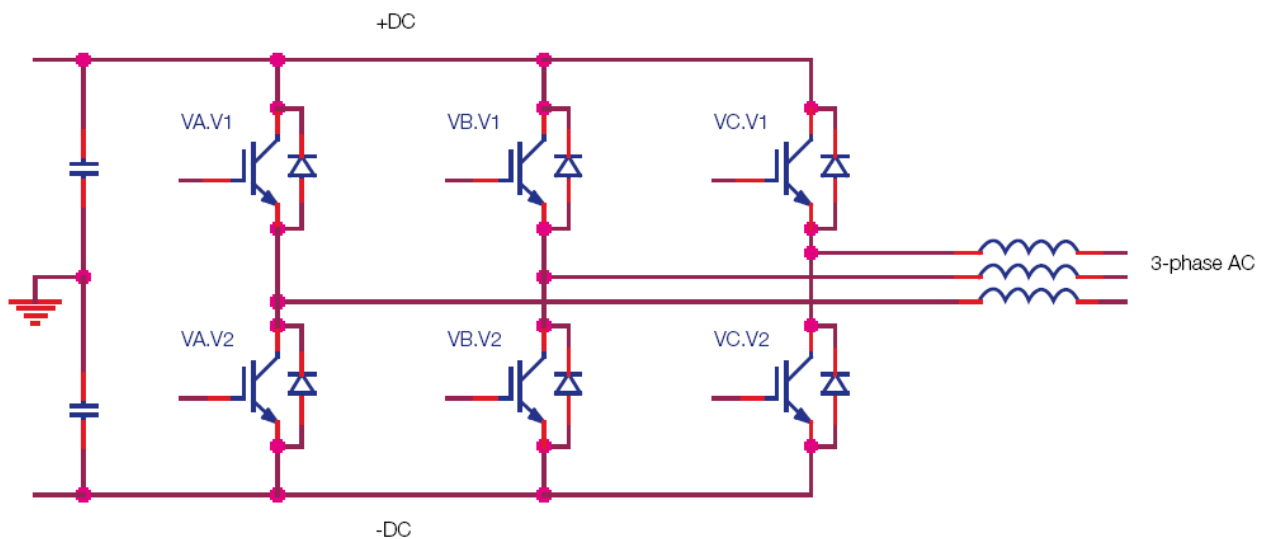




Figura 3.7 - Disegno schematico di un convertitore HVDC Light trifase a due livelli

PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	17	25

 3E Ingegneria S.r.l. PISA	Parco Eolico – Stretto di Sicilia Banco di Talbot OGGETTO / SUBJECT	 FOUR WIND S.R.L. CLIENTE / CUSTOMER
---	---	---

3.14 Progettazione meccanica

Le valvole del convertitore HVDC Light, per tensioni fino a 150 kV, sono montate all'interno di un involucro di alluminio e acciaio. L'involucro schermato contribuisce a migliorare la compatibilità elettromagnetica del convertitore. Un altro vantaggio è che l'involucro è fatto come un contenitore standard, il che ne semplifica il trasporto. In questo modo, la maggior parte dei componenti del convertitore può essere pre-assemblata alla produzione al fine di ridurre al minimo l'assemblaggio sul sito di destinazione. Alcuni dei test possono effettuarsi anche prima del trasporto, in modo da ridurre i tempi di commissioning e di installazione in sito. Tutti gli IGBT e circuiti di raffreddamento sono montati in pile tenute a stretto contatto ad alta pressione per ridurre al minimo la resistenza di contatto ed aumentare la capacità di raffreddamento.

Le pile sono tenute assieme con bulloni a fibra di vetro, che soddisfano sia l'isolamento che la resistenza meccanica agli sforzi. Uno schermo circolare in alluminio viene montato intorno alla pila di IGBT al fine di eliminare l'effetto punta e di conseguenza uniformare il campo elettrico attorno agli apparati in alta tensione. L'installazione rende il convertitore resistente ai terremoti ed altri movimenti. Infine, il metodo utilizzato per il montaggio con le pile schermate in involucri a livelli di umidità controllata, permette di ridurre le distanze tra le parti in alta tensione. Questo rende HVDC Light una tecnologia compatta per la trasmissione di potenza.

3.15 Sistema di raffreddamento delle valvole

Tutti gli HVDC Light sono dotati di dissipatori raffreddati ad acqua ad alta efficienza di raffreddamento. Per essere in grado di utilizzare l'acqua come liquido di raffreddamento a diretto contatto con parti ad alta tensione, è di grande importanza che l'acqua abbia una conduttività molto bassa. L'acqua circolante attraverso il dissipatore è a stretto contatto con ogni IGBT, in modo da portar via il calore dai semiconduttori. Il circuito di raffreddamento ad acqua è un sistema chiuso, e l'acqua viene raffreddata tramite scambiatori di calore utilizzando, come mezzo di raffreddamento, aria o un circuito secondario ad acqua.

L'acqua nel sistema di raffreddamento delle valvole passa continuamente attraverso un deionizzatore, al fine di mantenere bassa la sua conducibilità. La temperatura dell'acqua delle valvole è controllata da un sistema di controllo di raffreddamento basato su MACH-2, il quale, fra le altre cose, regola il numero di ventole da inserire

PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	18	25





per raggiungere la necessaria capacità di raffreddamento. In aggiunta alla misura di temperatura, il sistema di raffreddamento è anche dotato di sensori per la pressione, per il flusso, livello e conduttività dell'acqua e controlla pompe e ventilatori. Se necessario, nel caso la stazione di conversione sia situata in una zona fredda, per evitare il congelamento dell'acqua si può ricorrere a scaldatori elettrici o aggiunta di glicole.



Figura 3.8 - Sistema di raffreddamento delle valvole

Tutte le principali parti del sistema di raffreddamento delle valvole sono ridondanti. Il sistema di controllo consiste di due sistemi separati che misurano tutti i parametri utilizzando diversi trasmettitori, per ridurre al minimo il rischio di blocchi indesiderati. Entrambi i sistemi sono in grado di controllare le due principali pompe a motore, ed i quadri in bassa tensione sono dotati di funzioni di scambio al fine di

 3E Ingegneria S.r.l. PISA	Parco Eolico – Stretto di Sicilia Banco di Talbot OGGETTO / SUBJECT	 FOUR WIND S.R.L. CLIENTE / CUSTOMER
---	---	---

garantire la continuità del servizio. Il software inoltre effettua il cambio settimanale delle pompe in funzione, al fine di ottenere la parità di usura delle attrezzature. La ridondanza di tutte le apparecchiature semplifica inoltre la manutenzione del sistema di raffreddamento delle valvole. E' possibile modificare manualmente e direttamente dall'operatore tramite computer quale pompa deve entrare in funzione, qualora la manutenzione lo richieda. Alcune parti del sistema di raffreddamento possono essere disconnesse per consentire la manutenzione senza interrompere la trasmissione di potenza. Il sistema di raffreddamento delle valvole utilizzato per l'HVDC Light si basa sul sistema di raffreddamento delle valvole utilizzato per i convenzionali convertitori HVDC a valvole a tiristori utilizzato sin dal 1980.

3.16 Sistema di potenza dei servizi di stazione

Il sistema di potenza dei servizi di stazione è di vitale importanza per il funzionamento della stazione HVDC Light. La progettazione si basa su:

- Alimentazione ridondante: una dal collegamento interno in corrente alternata e una da una fonte esterna.

Il collegamento interno in corrente alternata può essere prelevato da un avvolgimento sul trasformatore di potenza. In questo modo l'alimentazione è garantita in tutti i momenti in cui la stazione è in funzione. La tensione in uscita è 6-10 kV, il che significa che è necessario un trasformatore intermedio per ottenere una tensione a 400 V.



- L'alimentazione esterna è presa da un sistema locale in corrente alternata fornito dal cliente e viene utilizzato come back-up rispetto all'alimentazione interna.

E' prevista la ridondanza di tutte le parti critiche: valvola di raffreddamento, pompe, batterie di stazione e carica batterie.

3.17 Commutazione automatica

Gli ingressi ai quadri a 400 V hanno una commutazione a controllo automatico. L'alimentazione proveniente dal bus in corrente alternata interno è preselezionata come primaria, mentre l'alimentazione esterna è utilizzata come back-up. Se la selezione dell'alimentazione primaria fallisce, automaticamente ci si posizionerà su

PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	20	25

 3E Ingegneria S.r.l. PISA	Parco Eolico – Stretto di Sicilia Banco di Talbot OGGETTO / SUBJECT	 FOUR WIND S.R.L. CLIENTE / CUSTOMER
---	---	---

quella di back-up per un tempo prestabilito, al termine del quale si tornerà sull'alimentazione primaria.

Ridondanza di tutte le apparecchiature critiche:

- Pompe del circuito di raffreddamento valvole.

Le duplicazioni della pompe di raffreddamento delle valvole sono controllate da convertitori di frequenza per avere la massima flessibilità per il controllo del flusso dell'acqua di raffreddamento. Il convertitore di frequenza rende inoltre possibile l'utilizzo di una sorgente di back-up in corrente continua al fine di mantenere attiva la pompa anche se i servizi ausiliari di stazione sono disattivati per un lungo periodo di tempo.

- Sistema delle batterie di stazione.

Le apparecchiature di controllo e gli altri carichi in corrente continua di stazione sono alimentati da un sistema ridondante di batterie con tempo di back-up di almeno due ore.

I carichi critici in corrente alternata interni al sistema di controllo, come ad esempio i server, i computer, gli switch LAN ecc, sono alimentati da un inverter corrente continua/corrente alternata alimentati dalle batterie di stazione con un sistema automatico di passaggio ad un'alimentazione alternativa in corrente alternata in caso di guasto o sovraccarico dell'inverter.

3.18 Protezione antincendio



Per gli HVDC Light, la zona di protezione da incendio è generalmente minore che per gli HVDC convenzionali, ma i requisiti ai quali devono rispondere sono gli stessi. La progettazione della protezione antincendio è in accordo con l'NFPA (National Fire Protection Association) e con le esigenze di tutte le autorità aventi giurisdizione sulle varie parti delle opere.

Gli involucri delle valvole, del sistema di controllo e tutte le zone aventi attrezzature sensibili, sono sottoposte a sistemi di campionamento dell'aria. Questo consente di rilevare eventuale presenza di fumo già in fase iniziale, consentendo in molti casi di evitare aperture non necessarie dell'impianto o il fuori servizio della stazione.

Il trasformatore di potenza è isolato per mezzo di pareti antincendio. A seconda della legislazione locale o delle esigenze dei clienti, il trasformatore può o meno essere protetto da un sistema di estintori a spruzzo.

I reattori convertitori prevedono il sistema di campionamento dell'aria.

PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	21	25

 3E Ingegneria S.r.l. PISA	Parco Eolico – Stretto di Sicilia Banco di Talbot OGGETTO / SUBJECT	 FOUR WIND S.R.L. CLIENTE / CUSTOMER
---	---	---

Se necessario, gli involucri delle valvole e le altre apparecchiature soggette al campionamento dell'aria possono essere irrorate con gas o acqua nebulizzata in caso d'incendio.

3.19 Costruzione, installazione e opere civili

La stazione di conversione ha una struttura compatta, con la maggior parte delle apparecchiature ospitate in un fabbricato con lo stile tipico del magazzino. I fabbricati sono realizzati in lamiera di acciaio e sono forniti di porte, scale e passerelle.

Le valvole IGBT sono installate in involucri di acciaio che vengono ancorati su una piastra di calcestruzzo sulla quale sono altresì posizionati i filtri in corrente alternata e le apparecchiature in corrente continua. Anche i dispositivi di controllo e di raffreddamento sono di norma installati in involucri.

Su tutte le attrezzature viene costruito un semplice fabbricato in acciaio le cui principali funzioni sono la schermatura ad alta frequenza, la riduzione del rumore e la protezione dagli agenti atmosferici. Tutti gli involucri (delle valvole, degli apparati di controllo e di raffreddamento) si trovano in ambiente controllato per quanto riguarda la temperatura, l'umidità e la pulizia.



Il rivestimento del fabbricato è normalmente in fogli di metallo, può essere isolato con barriere antirumore e prevedere un sistema di ventilazione interna.

I trasformatori e le ventole di raffreddamento sono situati al di fuori del fabbricato. I trasformatori di potenza sono ancorati su solide fondamenta. Il trasformatore è collegato al filtro in corrente alternata interno del fabbricato per mezzo di cavi.

3.20 Ubicazione interna

Al fine di evitare alte strutture di sostegno in acciaio, per facilitare la manutenzione e per migliorare la sicurezza del personale, i filtri per le armoniche in corrente alternata e continua, i reattori e i convertitori sono montati direttamente sulle fondazioni/sostegni e sono tenuti all'interno di un semplice fabbricato. Il fabbricato eviterà il propagarsi di emissioni ad alta frequenza ed acustiche e proteggerà l'attrezzatura dalle condizioni atmosferiche.

PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	22	25

 3E Ingegneria S.r.l. PISA	Parco Eolico – Stretto di Sicilia Banco di Talbot OGGETTO / SUBJECT	 FOUR WIND S.R.L. CLIENTE / CUSTOMER
---	---	---

3.21 Tempistica

Il convertitore, le relative valvole di controllo e i sistemi di raffreddamento sono costruiti e montati in fabbrica in appositi involucri trasportabili. In questo modo si garantisce l'installazione veloce e in sito ed il test del nucleo del sistema.

3.22 Test e ispezione del sito

I test di sistema sono normalmente l'ultima attività prima della consegna al cliente del sistema HVDC. In generale, la filosofia è che i test vanno effettuati il prima possibile in modo da consentire eventuali riparazioni nel più breve tempo possibile.

I test da effettuare in sito comprendono:



- Verifiche e prove durante la costruzione delle opere civili e durante l'installazione di singole attrezzature/unità:
 - verifiche e ispezioni durante la costruzione delle opere civili;
 - verifiche di pre-installazione;
 - verifiche durante l'installazione;
 - prove sulle apparecchiature.
- Test dei sottosistemi dell'HVDC:
 - Prove di funzionamento dei circuiti dei sottosistemi;
 - Avvio dei sistemi ausiliari.
- Test sul sistema HVDC:
 - Test di connessione:
 - sottoposizione all'alta tensione;
 - operazioni di connessione.
- Prove di trasmissione.

In aggiunta ai test indicati sopra, prove di accettazione devono essere eseguite in base alle specifiche previste dal contratto.

Tutte le verifiche e le prove sul sito sono sottoposte ad ispezione. Tutti i test saranno eseguiti sotto il controllo dell'accettazione da parte degli ingegneri ed esperti ABB.

Tutti i test ad alta tensione, i test di connessione e di trasmissione, saranno sotto la diretta gestione di ABB con una commissione di ingegneri ABB, ma sotto la piena responsabilità operativa del cliente.

PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	23	25

 3E Ingegneria S.r.l. PISA	Parco Eolico – Stretto di Sicilia Banco di Talbot OGGETTO / SUBJECT	 FOUR WIND S.R.L. CLIENTE / CUSTOMER
---	---	---

3.23 Disponibilità e manutenzione

Durante la progettazione di un moderno sistema di trasmissione HVDC Light, uno dei principali obiettivi della progettazione è di ridurre al minimo il numero ed il tempo dei periodi di interruzione forzata e di manutenzione programmata.

L'HVDC Light è progettato secondo i seguenti principi, al fine di garantire elevati livelli di affidabilità e disponibilità:

- Progettazione non complessa della stazione;
- Utilizzo di componenti di provata alta affidabilità;
- Supervisione automatica;
- Uso di apparati ridondanti e/o di back-up come i sistemi di controllo, gli apparati di misura, le pompe, ecc;
- Disponibilità di ricambi;
- La progettazione deve consentire attività di manutenzione (forzata e programmata) da eseguirsi col minimo impatto sul funzionamento del sistema;
- Le manutenzioni programmate che richiedano arresti del sistema devono essere minimizzate;
- Il tempo necessario alla manutenzione programmata è mantenuto basso grazie alla presenza di poche parti meccaniche.

L'efficienza di manutenzione può essere aumentata, fino ad un livello economicamente ragionevole, per mezzo di apparati ridondanti che consentano l'intercambiabilità dei moduli o dei componenti piuttosto che la riparazione.

3.24 Impatto ambientale



Poiché tutta la stazione di conversione, ad eccezione del trasformatore di potenza, è racchiusa in un fabbricato, l'impatto ambientale è molto basso.

3.25 Campi magnetici

Come già detto, i due cavi di polo del sistema HVDC Light di norma sono ravvicinati. Poiché sono percorsi dalla stessa corrente continua in direzione opposta, i campi magnetici tendono ad annullarsi. Il campo magnetico residuo è estremamente basso, paragonabile al campo magnetico terrestre.

I campi magnetici da cavi in corrente continua sono campi statici, che non causano alcun effetto di induzione, diversamente dai campi in corrente alternata.

PDT/R/0/EL/002	00	ESP offshore - Relazione tecnico-descrittiva	Data-Date.	Pag.- Sh.	TOT.
SIGLA-TAG	REV	DESCRIZIONE – DESCRIPTION	07/2009	24	25

 3E Ingegneria S.r.l. PISA	Parco Eolico – Stretto di Sicilia Banco di Talbot OGGETTO / SUBJECT	 FOUR WIND S.R.L. CLIENTE / CUSTOMER
---	---	---

Per quanto riguarda il convertitore, il campo elettromagnetico nel suo intorno è piuttosto basso, poiché tutti gli apparecchi sono situati in un fabbricato progettato per fungere da schermo molto efficiente nella riduzione del campo elettromagnetico. La schermatura è necessaria per ridurre al minimo le emissioni nella gamma a radiofrequenza, ad es. per interferenze radio, a causa dell'elevato gradiente di corrente e delle commutazioni dell'ordine di 1-2 kHz. Ne consegue che, a causa della schermatura per evitare interferenze nel campo delle radiofrequenze, il campo elettromagnetico è ben al di sotto della soglia di sicurezza prevista per l'uomo.

3.26 Perdite elettriche

Le perdite di trasmissione sono dovute sostanzialmente alla doppia trasformazione da corrente alternata a continua, ad opera della ESP offshore, e da continua ad alternata, ad opera della ESP onshore; le perdite associate ai cavi marini e terrestri sono invece di lieve entità, grazie alla scelta della corrente continua. La tabella seguente fornisce una stima delle perdite di trasmissione dei moduli HVDC light da 150 kV, anche in relazione alla lunghezza del cavidotto.

Converter types	DC voltage (kV)	DC current (A)	DC cable (Cu in mm ²)	Sending power (MW)	Receiving power (MW)					
					Back-to-back	50 km	100 km	200 km	400 km	800 km
M4	150	627	300	191.3	185.0	182.0	179.0	174.0		
M5	150	1233	1200	376.0	363.7	361.0	358.0	353.0	342.0	
M6	150	1881	2800	573.9	555.1	552.0	549.5	544.0	533.0	

Tabella 3.3 – capacità di trasmissione per differenti lunghezze di cavidotto – valori tipici per moduli da 150 kV

Nel caso di due moduli M5 da 373 MVA, le perdite associate alla doppia trasformazione AC/DC e DC/AC (*Back-to-back*) sono pari al **3,27 %**.

La tabella fornisce inoltre una stima delle perdite elettriche nel caso di impiego di cavi marini con sezione di 1.200 mm² e lunghezze pari a 50 km, 100 km, 200 km e 400 km: le perdite a pieno carico risultano complessivamente pari al 3,99%, 4,79%, 6,12% e 9,04%.