



**L'ENERGIA CHE TI ASCOLTA.**

Divisione Generazione ed Energy Management  
Area di Business Produzione Termoelettrica  
Unità di Business Termoelettrica Porto Empedocle

## **Allegato D6**

**Identificazione e quantificazione degli effetti delle  
emissioni in aria e confronto con SQA per la proposta  
impiantistica per la quale si richiede l'autorizzazione**

<b>Cliente</b>	ENEL PRODUZIONE SPA
<b>Oggetto</b>	Procedure di integrazione AIA della centrale di Porto Empedocle. Contributo D7 per la componente acqua.
<b>Ordine</b>	Accordo Quadro ENEL-CESI 8400006584. AQ 4000187793
<b>Note</b>	AG08SID033 – Lettera A8022995

PUBBLICATO A8022710 (PAD - 1084459)

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

Il presente rapporto è convalidato/firmato elettronicamente.

La presenza del timbro PUBBLICATO Annnnnnn (PAD – nnnnnn) sul lato sinistro del documento attesta che convalida/firma elettronica è avvenuta nel rispetto delle procedure aziendali e delle procure di firma (per elaborazione, verifica e approvazione) in vigore.

<b>N. pagine</b>	13	<b>N. pagine fuori testo</b>	0
<b>Data</b>	01/08/2008		
<b>Elaborato</b>	SID - Colombo Daniela <small>ASM022710 3821 ALT</small>		
<b>Verificato</b>	SID - Granata Tommaso <small>ASM022710 3744 VER</small>		
<b>Approvato</b>	ISM - Il Responsabile - Ferraroli Roberto <small>ASM022710 3208 APP</small>		

Mod. RISM v. 02

*Indice*

<b>SOMMARIO.....</b>	<b>3</b>
<b>1 INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>2 RILIEVI TERMICI A MARE .....</b>	<b>4</b>
2.1 Premessa.....	4
2.2 Analisi delle campagne di misura .....	6
<b>3 ESTRAPOLAZIONE ALLE CONDIZIONI ESTIVE .....</b>	<b>10</b>
<b>4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....</b>	<b>12</b>
<b>5 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>13</b>

## STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	01/08/2008	A822710	Prima emissione

## SOMMARIO

Nell'ambito dell'Autorizzazione Integrata Ambientale della centrale termoelettrica di Porto Empedocle, ENEL ha richiesto a CESI alcuni contributi alla redazione delle risposte alle richieste di integrazione pervenute dalla commissione AIA con specifico riferimento alla scheda D di valutazione degli impatti.

Il presente rapporto tecnico si riferisce in particolare alla richiesta di cui al punto D7 della scheda di valutazione degli impatti riguardante la "*Identificazione e quantificazione degli effetti delle emissioni in acqua*" tenendo conto dell'assetto impiantistico attuale.

L'analisi della dispersione dello scarico caldo della centrale di Porto Empedocle è stata condotta con riferimento alle campagne di misura della temperatura effettuate al largo del punto di immissione in mare, integrandole con ulteriori rilievi termici eseguiti dalla centrale sull'acqua in ingresso ai condensatori.

## 1 INTRODUZIONE

La centrale termoelettrica di Porto Empedocle, situata in provincia di Agrigento (**Figura 1**), utilizza olio combustibile per alimentare due gruppi da 200 MWt per una potenza termica complessiva di 400 MWt.

La **Figura 2** mostra la posizione planimetrica delle opere di presa e di scarico delle acque di raffreddamento necessarie al ciclo produttivo della centrale per una portata complessiva a pieno carico di 17100 mc/h. L'opera di presa, in cemento armato, si colloca all'interno dell'adiacente porto di Porto Empedocle; l'adduzione si estende per circa 490 m dal punto di presa alla vasca di calma a cielo aperto (lunghezza di circa 30 m) realizzata all'interno del perimetro della centrale. Le pompe dell'acqua condensatrice aspirano dalla vasca di calma con tubazioni di mandata in acciaio della lunghezza di 84 m e di 123 m rispettivamente per il gruppo 1 e 2.

Al termine del ciclo di raffreddamento l'acqua viene restituita attraverso due diramazioni iniziali in acciaio di circa 5 m che si immettono in due canali in cemento armato della lunghezza di 148 m e di 110 m rispettivamente per il gruppo 1 e per il gruppo 2; tali canali si congiungono infine al diffusore in cemento armato a cielo aperto (lunghezza 24 m).

Il rilascio di energia termica attraverso le acque di raffreddamento provenienti dai condensatori rende necessaria la valutazione del rispetto del limite di legge nel tratto di mare antistante la centrale.

La normativa di legge vigente ai fini del rispetto dei limiti termici di immissione in mare (**Rif. 1, Rif. 2**) prevede un limite massimo di +3°C di sovrariscaldamento rispetto alla temperatura naturale del corpo idrico ricettore valutato su un arco di raggio 1000 m a partire dal punto di scarico, oltre al limite assoluto di 35°C nel punto di scarico stesso.

L'obiettivo del presente studio è stato quello di valutare e caratterizzare la dispersione termica conseguente allo scarico delle acque di raffreddamento della centrale di Porto Empedocle e di verificare il rispetto della suddetta legislazione. A tale scopo ci si è avvalsi dei rilievi termici in rada eseguiti nei mesi di ottobre e novembre 1993, oltre che di quelli registrati sull'acqua in ingresso ed in uscita dai condensatori della centrale.

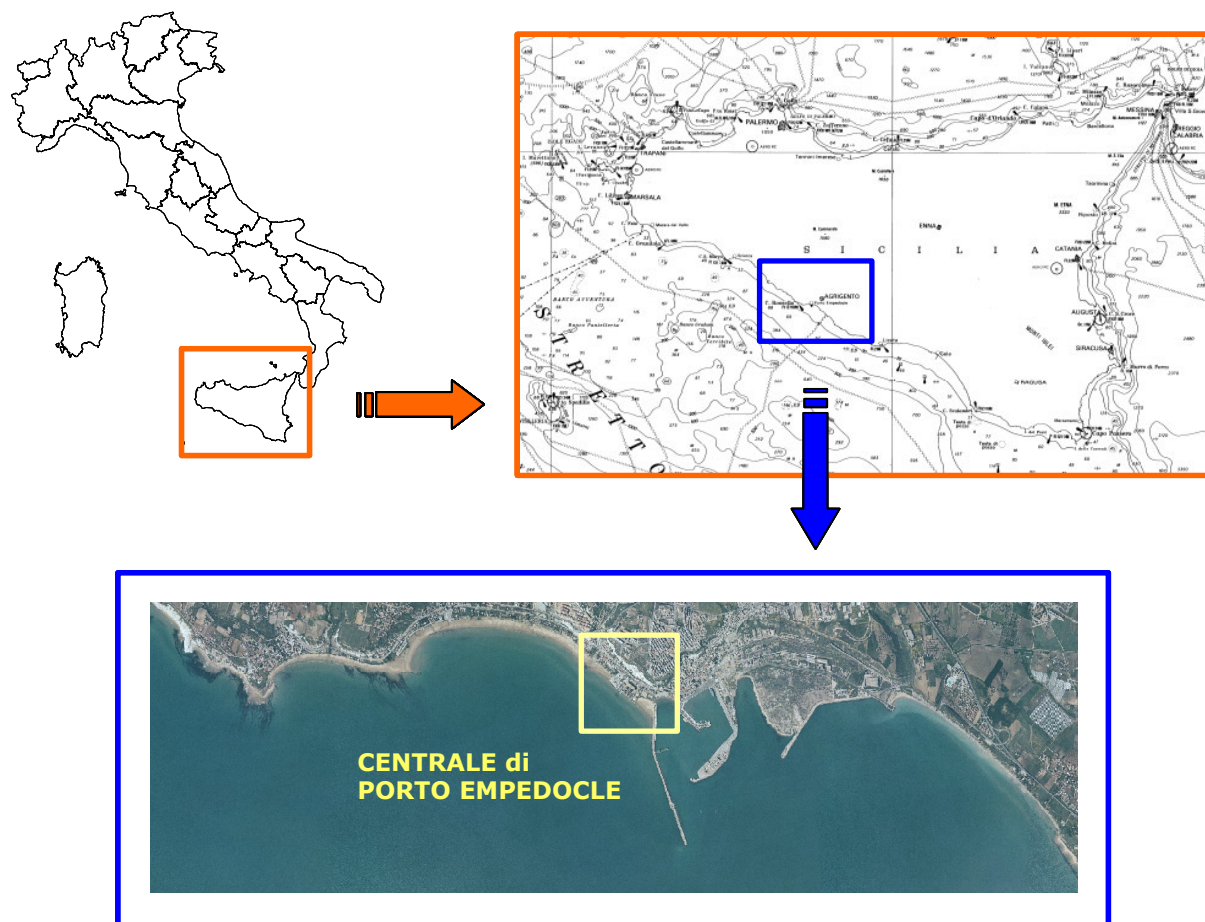
## 2 RILIEVI TERMICI A MARE

### 2.1 Premessa

L'immissione in corpi idrici dell'acqua calda proveniente dai circuiti di raffreddamento di centrali termoelettriche mediante scarichi a cielo aperto è tipicamente condizionata dalla conformazione e dalle condizioni idrauliche degli stessi, dalle condizioni meteomarine tipiche del sito, nonché dalle condizioni di esercizio degli impianti.

Il controllo sperimentale delle temperature, secondo le modalità stabilite dalla legislazione, rappresenta uno strumento per la verifica, fortemente sito – specifica, del rispetto della legislazione vigente e, conseguentemente, per la gestione della produzione di centrale.

Nel caso specifico si è fatto riferimento ad una estesa serie di misure eseguite tra l'ottobre ed il novembre del 1993 quasi contemporaneamente alla messa a punto del regolamento attuativo di cui al **Rif. 2**.



**Figura 1** Collocazione dell'impianto di Porto Empedocle



**Figura 2** Collocazione delle opere di presa e di scarico della centrale di Porto Empedocle; l'opera di presa si colloca all'interno dell'adiacente area portuale di Porto Empedocle

## 2.2 Analisi delle campagne di misura

La **Figura 3** che segue mostra la collocazione dei punti di misura della temperatura nella rada di Porto Empedocle adottati durante i suddetti rilievi termici dell'ottobre – novembre 1993. Secondo quanto stabilito dalla normativa tecnica vigente i punti si collocano sull'arco di circonferenza avente raggio pari a 1000 m dal punto di scarico in mare evidenziato in **Figura 2**. I punti in cui è stato effettivamente possibile eseguire le misure vanno dalla posizione n° 2 alla posizione n° 19.

Come precedentemente accennato, i rilievi qui di seguito analizzati furono eseguiti parallelamente alla messa a punto della metodologia di legge. La metodologia adottata per il rilievo presenta dunque alcune differenze rispetto alla allora mancante normativa ufficiale; tali differenze, peraltro, appaiono minime e talvolta conservative come di seguito specificato:

- la spaziatura angolare tra un punto di misura ed il successivo sull'arco di circonferenza è stata assunta uguale a  $7.5^\circ$  anziché pari a  $5^\circ$ , con una differenza che si considera comunque più che accettabile per la corretta definizione del pennacchio;
- il rilievo è avvenuto senza ripetizioni nel punto più caldo dell'arco; tale differenza, peraltro, appare conservativa poiché le 10 ripetizioni previste dalla normativa nel punto

più caldo servono a definire lo scarto ( $s_{10}$ ) della misura nel punto stesso che dovrebbe essere sottratto nel calcolo dell'incremento termico sull'arco a 1000 m secondo la formulazione:

$$\Delta T = (T_{10} - 2s_{10}) - (T_m + 2s)$$

dove:

$s$  = deviazione standard relativa ai 3 punti più freddi dell'arco

$s_{10}$  = deviazione standard relativa alle 10 repliche nel punto più caldo

$T_m$  = temperatura media dei tre punti più freddi dell'arco

$T_{10}$  = temperatura media relativa alle 10 repliche nel punto più caldo

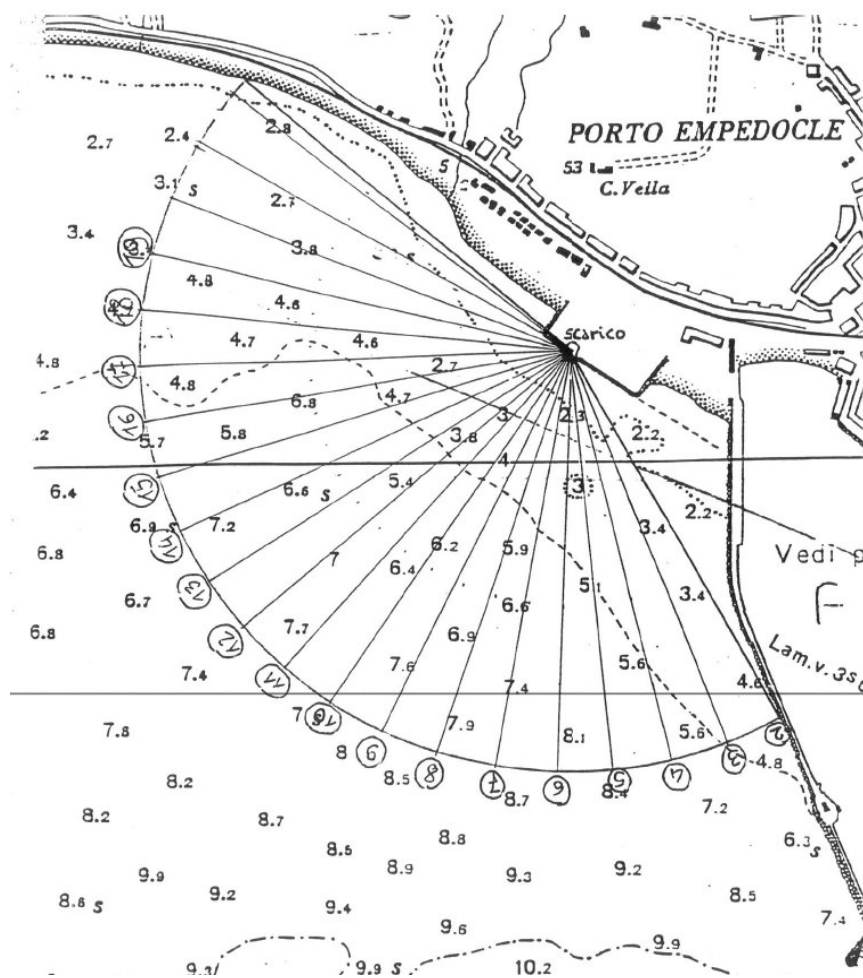
$\Delta T$  = incremento termico nel punto più caldo dell'arco

La **Tabella 1** riporta il giorno e l'ora dei rilievi eseguiti, l'assetto dell'impianto durante tali rilievi e le temperature misurate in centrale, mentre la **Tabella 2** fornisce i valori dell'incremento termico calcolato nel punto più caldo dell'arco a 1000 m per ciascuno dei rilievi portati a termine, oltre ad alcune note relative a ciascuna misura.

Dall'analisi delle tabelle si evince che:

- il **limite assoluto di 35°C** per la temperatura allo scarico è sempre rispettato, come ricavabile dai valori di temperatura dell'acqua mare allo scarico di **Tabella 1**;
- i **valori di incremento termico sull'arco a 1000 m** ottenuti per le diverse campagne e riassunti in **Tabella 2** appaiono inferiori ai 3°C, in ampio rispetto dei limiti previsti dalla normativa vigente;
- nelle condizioni idrodinamiche presenti in rada al momento dei rilievi, si è osservato che il pennacchio caldo, a 1000 m dal punto di emissione, presentava generalmente i suoi valori massimi in corrispondenza delle stazioni più estreme a nord (tra le stazioni 16 e 19) e a sud dell'arco (tra le stazioni 2 e 6) indicando una influenza sulla direzione del trasporto della discontinuità costituita dal molo di Ponente dell'adiacente porto.





**Figura 3** Punti di misura sull'arco a 1000 m dal punto di immissione durante i rilievi dell'ottobre – novembre 1993

Tabella 1 Giorni e ore dei rilievi termici sull'arco a 1000 m, assetto di impianto e misure temperature acqua mare

Rilievo N°	giorno	ore		Potenza % erogata		Temperatura acqua mare									
						GRUPPO_1				GRUPPO_2					
						presa °C	scarico °C	ingresso cassa 1 °C	uscita cassa 2 °C	ingresso cassa 1 °C	uscita cassa 2 °C	ingresso cassa 1 °C	uscita cassa 2 °C		
2	20/10/1993	9.00	10.22	140	100	23.2	33.9	23.2	23.2	34.0	33.5	23.2	23.2	33.5	33.3
3	20/10/1993	13.20	14.12	140	100	23.5	34.4	23.5	23.5	34.5	34.5	23.5	23.5	34.5	34.1
4	20/10/1993	15.20	16.10	140	100	23.5	34.5	23.4	23.4	34.5	34.5	23.4	23.4	34.5	34.5
5	21/10/1993	8.30	9.16	140	100	23.0	33.8	23.0	23.0	34.0	34.0	23	23	33.5	33.5
6	21/10/1993	13.21	14.01	140	100	23.0	33.8	23.1	23.1	34.1	34.2	23.1	23.1	34.2	33.5
8	22/10/1993	8.44	9.14	140	100	22.0	33.4	22.2	22.2	34.0	34.0	22.2	22.2	32.5	33
9	22/10/1993	10.05	10.38	140	100	22.0	33.4	22.2	22.2	34.0	34.0	22.2	22.2	32.5	33
10	22/10/1993	13.33	14.10	140	100	22.0	33.5	22.2	22.2	34.0	34.0	22.2	22.2	32.7	33.1
13	26/10/1993	14.24	15.02	140	100	21.0	30.9	21.0	21.0	30.4	31.8	21	21	30	31.5
14	26/10/1993	16.03	16.36	140	100	21.0	30.9	21.0	21.0	30.4	31.8	21	21	30	31.5
15	27/10/1993	8.32	9.13	140	100	20.5	31.3	20.5	20.5	32.0	32.0	20.5	20.5	30	31
16	27/10/1993	13.33	14.15	140	100	20.8	32.0	20.8	20.8	34.0	32.0	20.8	20.8	31.6	30.5
17	27/10/1993	15.19	16.05	140	100	20.8	32.3	20.8	20.8	34.0	32.0	20.8	20.8	31.6	32
18	28/10/1993	8.40	9.17	140	100	20.2	32.4	20.4	20.4	34.2	33.2	20.4	20.4	30.5	32.1
19	28/10/1993	13.50	14.31	140	98	20.7	32.8	20.7	20.7	34.3	33.3	20.7	20.7	31	32
20	28/10/1993	15.52	16.12	140	98	20.8	33.0	20.8	20.7	34.5	33.5	20.8	20.8	31	32
26	08/11/1993	15.55	16.25	140	98	20.8	30.4	20.9	20.5	33.0	31.0	20.8	20.5	29.5	31.5
27	09/11/1993	8.37	9.12	140	100	20.5	31.7	20.4	20.4	34.0	32.0	20.4	20.4	30	31
28	09/11/1993	13.02	13.53	70	50	20.4	23.4	20.5	20.5	20.6	20.6	20.5	20.5	26.4	26.4
28B	10/11/1993	8.31	9.04	140	95	20.0	30.0	20.1	20.1	32.0	30.0	20.1	20.1	29	30
29	10/11/1993	13.25	14.02	70	93	20.6	25.6	-	-	-	-	20.6	20.6	29	30.2
30	10/11/1993	14.57	15.33	70	93	20.6	25.6	-	-	-	-	20.6	20.6	29	30.2
31	11/11/1993	8.31	9.06	140	100	20.0	29.7	20.1	20.1	31.0	29.5	20.1	20.1	29	30.5
32	11/11/1993	13.24	14.03	140	100	20.0	29.8	20.0	20.0	31.0	29.5	20	20	31	30.5
33	11/11/1993	15.03	15.36	140	100	20.0	29.9	20.0	20.0	30.9	29.7	20	20	30.9	30.6
34	12/11/1993	8.37	9.20	140	100	19.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tabella 2 Incrementi termici sull'arco a 1000 m (limite di legge 3°C)

Rilievo N°	DELTA T su arco a 1000m LIMITE 3°C	NOTE
2	0.56	
3	0.97	
4	1.31	
5	0.21	
6	0.67	Impossibilità rilievi alla stazione 19
8	0.06	Impossibilità rilievi alle stazioni 2, 18, 19 (peggiore cond. meteomarine)
9	0.14	Impossibilità rilievi alle stazioni 2, 18, 19 (onda lunga)
10	0.16	Impossibilità rilievi alla stazione 19 (onda lunga); corrente da NO
13	0.27	Impossibilità rilievi alle stazioni 18, 19 (mare mosso)
14	0.32	Impossibilità rilievi alla stazione 19 (onda lunga)
15	0.50	
16	0.28	Impossibilità rilievi alla stazione 19
17	0.25	
18	0.26	Impossibilità rilievi alla stazione 19
19	0.63	Impossibilità rilievi alla stazione 19
20	0.95	Impossibilità rilievi alla stazione 19
26	0.37	Impossibilità rilievi alle stazioni 2, 19 (mare mosso)
27	0.31	
28	0.88	Impossibilità rilievi alla staz. 2 (peggiore cond. meteomarine); GR_1 fermo e GR_2 al 50%
28B	0.17	
29	0.53	GR_1 fermo
30	1.07	GR_1 fermo
31	0.42	
32	1.23	
33	1.07	
34	-0.31	

### 3 ESTRAPOLAZIONE ALLE CONDIZIONI ESTIVE

Come precedentemente sottolineato lo scarico in mare dell'acqua calda proveniente dai circuiti di raffreddamento di una centrale è tipicamente condizionato dalla conformazione e dalle condizioni idrauliche dello scarico stesso, dalle condizioni meteomarine tipiche del sito, nonché dalle condizioni di esercizio degli impianti.

Il fenomeno a cui corrispondono i maggiori effetti in termini di rimescolamento e trasporto è quello della turbolenza. L'azione turbolenta, oltre al trascinarsi nella direzione del getto, provoca anche il rimescolamento dei due fluidi e una maggiore dispersione del pennacchio caldo.

Accanto ai fattori già indicati che possono influire sul fenomeno della dispersione del pennacchio caldo sono certamente da considerare anche le possibili peculiarità del sito, quali sono ad esempio la presenza di opere nell'area di scarico in grado di interferire con il pennacchio stesso. Per l'area in esame appare evidente l'influenza del molo di Ponente del vicino porto che si protende in mare per più di un chilometro modificando il regime correntometrico ed ondometrico sottocosta.

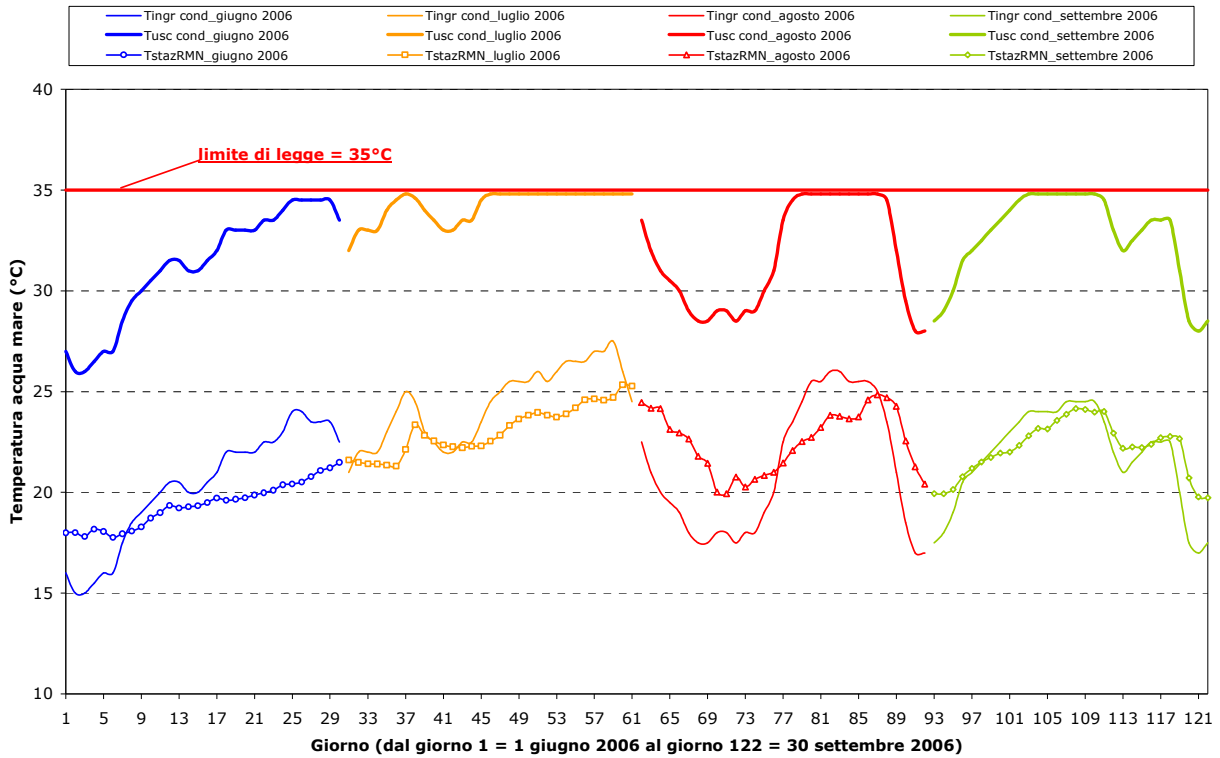
Un elemento particolarmente importante è inoltre rappresentato dalla eventuale presenza o vicinanza di foci fluviali che possono produrre fenomeni di stratificazione e, dunque, di limitato rimescolamento verticale che si crea all'immissione di acque dolci a minore densità rispetto a quelle del corpo idrico ricevente. Nel caso in esame circa 400 m a Nord Ovest dallo scarico è presente la foce di un rigagnolo caratterizzato da ridotti deflussi temporanei e di origine prevalentemente meteorica. Tali caratteristiche consentono dunque di escludere l'instaurarsi delle suddette fenomenologie.

Per quanto concerne in particolare i periodi estivi è necessario considerare la maggiore temperatura del corpo idrico ricevente e, dunque, l'incremento della temperatura alla presa che si traduce in un aumento della temperatura assoluta allo scarico. Il conseguente possibile raggiungimento del limite di legge vincola la gestione dell'impianto in termini di riduzione del carico massimo erogabile.

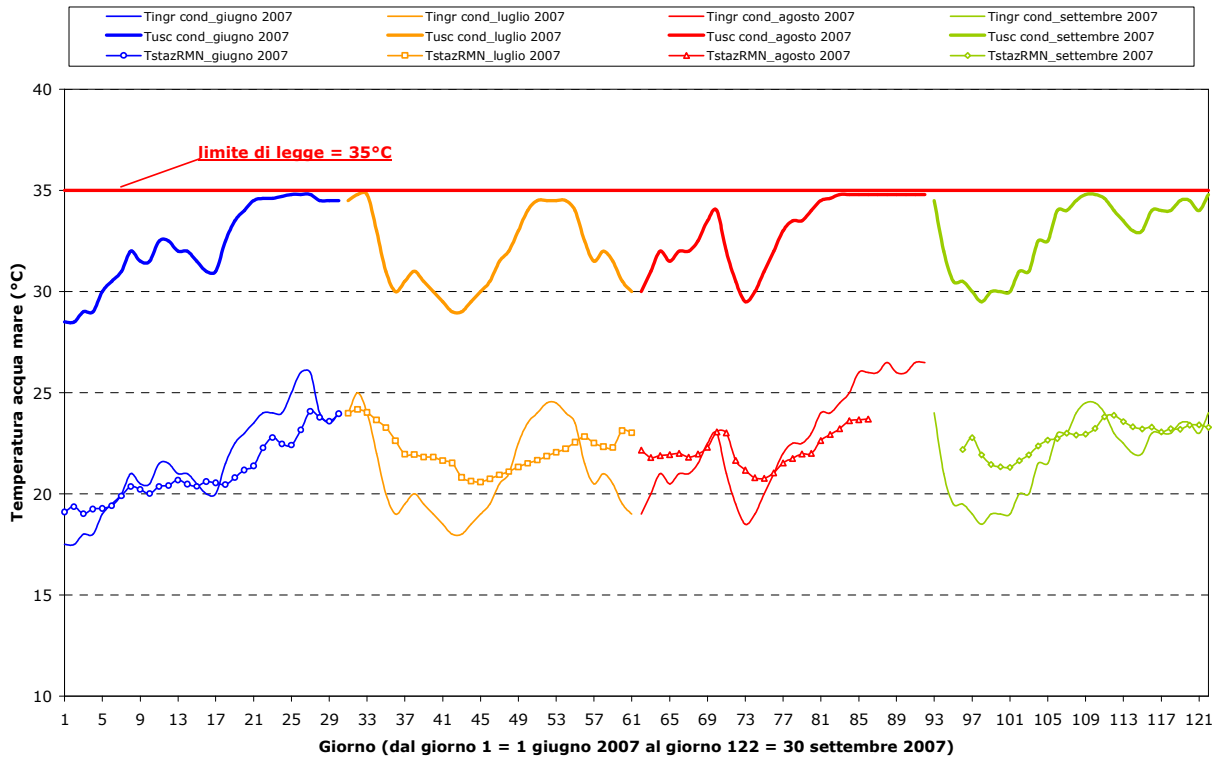
Al fine di verificare tale circostanza, si è fatto riferimento alle misure delle temperature in ingresso (che, grazie al miscelamento che si opera in corrispondenza della vasca di calma, sono sostanzialmente identiche ai quattro punti di misura dei gruppi) ed in uscita condenser eseguite in centrale durante i periodi estivi degli anni 2006 e 2007. L'andamento delle temperature è mostrato in **Figura 4** ed in **Figura 5** rispettivamente per l'anno 2006 e 2007.

I grafici contengono inoltre l'andamento della temperatura registrata per gli analoghi periodi dalla vicina stazione della Rete Mareografica Nazionale (RMN) di Porto Empedocle (Rif. 3). Tale stazione, ubicata in corrispondenza della radice del Molo Vecchio (F. Crispi) nel vicino porto (**Figura 6**), unisce al rilievo continuativo delle oscillazioni mareali anche quello della temperatura dell'acqua di mare mediante un sensore collocato all'interno del tubo di calma del mareografo (struttura cilindrica in cemento armato) a circa 1 m dal pelo libero. Tale particolare collocazione giustifica lo smorzamento dei massimi e dei minimi nell'andamento termico estivo illustrato nelle figure 4 e 5. Peraltro, il confronto tra le oscillazioni estive delle temperature dell'acqua mare registrate dalla centrale in ingresso ai condenser e dalla vicina stazione RMN mostra un'ottima corrispondenza dei trend di crescita e di decrescita.

Il confronto tra le temperature massime misurate al diffusore di scarico ed il limite di legge di 35 °C mostrato in entrambe le figure 4 e 5 evidenzia il **non superamento** di tale limite per entrambi gli anni esaminati. In particolare si evidenziano chiaramente gli effetti delle limitazioni di carico imposte dal sistema di controllo e monitoraggio della centrale in corrispondenza dei picchi termici che produrrebbero il superamento del limite di legge. Si sottolinea, infatti, che i rilievi delle temperature in ingresso – uscita ai condenser e allo scarico a mare fanno parte delle normali procedure di controllo e monitoraggio della centrale.



**Figura 4** Andamento delle temperature dell'acqua del mare nei mesi estivi dell'anno 2006 (da rilievi di centrale e della stazione RMN di Porto Empedocle)



**Figura 5** Andamento delle temperature dell'acqua del mare nei mesi estivi dell'anno 2007 (da rilievi di centrale e della stazione RMN di Porto Empedocle)



Figura 6 Ubicazione della stazione di Porto Empedocle della Rete Mareografica Nazionale (Rif. 3)

#### 4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La caratterizzazione del pennacchio caldo prodotto a valle dello scarico delle acque di raffreddamento dei condensatori della centrale ENEL di Porto Empedocle si è basata su un'estesa serie di misure termiche condotte al largo dello scarico a mare nell'autunno del 1993.

Le conclusioni tratte dall'elaborazione delle suddette misure, unitamente ad alcuni rilievi sulle temperature delle acque in ingresso ai condensatori condotti in centrale negli anni 2006 e 2007, sono state utilizzate per la stima dell'impatto termico prodotto in rada nell'ipotesi di funzionamento estivo dell'impianto.

L'insieme delle analisi complessivamente condotte e descritte ai capitoli precedenti (cui si rimanda per i necessari approfondimenti) consente di trarre le seguenti considerazioni conclusive in merito al rispetto della legislazione vigente nei casi di:

1. **funzionamento in condizioni autunnali in assetto a pieno carico**

- i **valori di incremento termico sull'arco a 1000 m** ottenuti per le diverse campagne condotte nel 1993 rispettano ampiamente il limite di 3 °C previsto dalla normativa vigente; la media di tutti gli incrementi (0.54 °C) calcolati a 1000 m è risultata pari al 18% del limite dei 3° C.

2. **funzionamento in condizioni estive in assetto a pieno carico**

- in considerazione della tipologia di scarico (in mare aperto) e delle complesse fenomenologie che si possono generare a partire dal punto di immissione la previsione dei **valori di incremento termico sull'arco a 1000 m** appare fortemente influenzata dalle condizioni meteomarine presenti in sito; peraltro, in considerazione sia delle ridotte portate in gioco sia dell'ampio margine di rispetto della normativa vigente (riscontrato durante la campagna autunnale), fatta salva la necessità di operare una riduzione del carico della centrale termoelettrica in eventuali situazioni di elevata temperatura dell'acqua di mare, è ragionevole attendersi il rispetto della normativa vigente sull'arco a 1000 m anche in assetto di funzionamento con entrambi i gruppi a pieno carico.

Con specifico riferimento alle misure disponibili per l'autunno 1993 e per i periodi estivi 2006 e 2007 è stato infine possibile evidenziare il rispetto del vincolo legislativo relativo alla **temperatura assoluta allo scarico (35 °C)**. Si sottolinea, peraltro, che i rilievi delle temperature in ingresso – uscita ai condensatori e allo scarico a mare fanno parte delle normali procedure di controllo e monitoraggio della centrale e garantiscono il quotidiano rispetto del suddetto vincolo.

## **5 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

**Rif. 1** DLgs 152/06, “Norme in materia ambientale”, 3 aprile 2006 n.152 (Suppl. ordinario gazz. Uff. n. 88 del 14/04/2006)

**Rif. 2** Notiziario IRSA. “Metodi analitici per le acque: Metodologie per la determinazione dell’incremento di temperatura nelle acque marine a seguito di sversamenti di scarichi termici.” n. 4, Ottobre - Dicembre 1993 e successivi

**Rif. 3** [www.apat.gov.it/site/it-IT/Servizi\\_per\\_l'Ambiente/Dati\\_Meteo\\_Marini/](http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Servizi_per_l'Ambiente/Dati_Meteo_Marini/) RMN Rete Mareografica nazionale; [www.idromare.it/](http://www.idromare.it/)