

Cliente ENDESA ITALIA SPA

Oggetto Centrale di Ostiglia.
Validazione del modello di bilancio termico attualmente in uso presso la centrale per la verifica dei limiti di legge relativi allo scarico in Po delle acque di raffreddamento dei condensatori.

Ordine Ordine Cliente: Contratto servizi N. 6000002089 del 13.04.2007

Note Rev. 0

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

N. pagine 45 **N. pagine fuori testo** 0

Data 19/12/2007

Elaborato Colombo Daniela (CESI SID)
A7034152 3821 ALT

Verificato Granata Tommaso (CESI SID)
A7034152 3744 VER

Approvato Fiore Antonio (CESI AMB)
A7034152 3743 APP

Indice

SOMMARIO.....	3
1 INTRODUZIONE	4
1.1 Scopo dello studio	4
1.2 Articolazione delle attività	4
1.3 Documenti di riferimento	5
2 CONDIZIONI INFLUENZANTI LA DISPERSIONE TERMICA	6
2.1 Premessa.....	6
2.2 Caratteristiche dell'impianto	6
3 CORRELAZIONE LIVELLO – PORTATA DEL FIUME PO AD OSTIGLIA.....	10
3.1 Premessa.....	10
3.2 Correlazione lineare	10
3.3 Correlazione non lineare	12
3.4 Correlazione livello – portate attualmente in uso.....	14
3.5 Confronto tra le portate calcolate e quelle misurate.....	15
3.5.1 Premessa.....	15
3.5.2 Verifica della correlazione livello – portata del fiume Po ad Ostiglia	15
4 PERTURBAZIONE TERMICA IN PO.....	17
4.1 Premessa.....	17
4.2 Misure termiche in Po	17
4.2.1 Determinazione delle sezioni di misura	17
4.2.2 Risultati delle misure termiche.....	19
4.3 Confronto tra il modello di bilancio termico e le misure di campo.....	20
4.3.1 Fenomeni fisici che regolano la dispersione della perturbazione termica.....	20
4.3.2 Confronto tra gli incrementi termici calcolati e quelli misurati	22
5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	23
5.1 Premessa.....	23
5.2 Sintesi dei principali risultati.....	23
5.3 Considerazioni finali	24
APPENDICE 1_RILIEVI IDROLOGICI.....	25
APPENDICE 2_RILIEVI TERMICI.....	29
APPENDICE 3_RILIEVI TERMICI_DATI.....	32
APPENDICE 4_RILIEVI TERMICI_DATI.....	38

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	19/12/2007	A7034152	Prima emissione

SOMMARIO

La società Endesa Italia è autorizzata a recapitare nel fiume Po le acque reflue industriali provenienti dal raffreddamento dei condensatori dell'impianto termoelettrico di Ostiglia (MN) di cui è proprietaria.

All'atto del rilascio della suddetta autorizzazione, la Provincia di Mantova ha richiesto a Endesa Italia SpA il rispetto di alcune prescrizioni relativamente alle modalità di rilascio e di controllo delle acque recapitate in Po. In particolare è richiesta la presentazione al Servizio Acque e Suolo – Protezione Civile della Provincia di Mantova e ad ARPA – Dipartimento di Mantova di:

“una relazione di verifica che riporti i dati delle campagne di misura delle temperature da effettuarsi in occasione delle variazioni di livello del fiume e delle potenza erogata dalla Centrale, al fine di implementare il modello di correlazione livello – portata del fiume Po, elaborato da Endesa Italia (nota prot. N. 530/04).” [Rif. 1]

Endesa Italia SpA ha incaricato CESI SpA di predisporre la documentazione necessaria all'adempimento della prescrizione e di eseguire una serie di campagne di misura in Po utili al soddisfacimento delle richieste avanzate dalle Autorità competenti.

La presente relazione analizza il modello di bilancio termico attualmente in uso presso la centrale alla luce delle misure termiche e idrologiche condotte da CESI in due diverse campagne nel corso del corrente anno.

Nell'ambito delle incertezze insite in ciascuno dei due metodi (teorico e sperimentale) adottati per la valutazione degli incrementi termici prodotti in Po a seguito dello scarico delle acque di raffreddamento, l'esito del confronto tra i risultati del modello di bilancio termico teorico e le misure di campo appare più che soddisfacente e consente di valutare positivamente l'affidabilità complessiva del modello attualmente in uso presso la centrale.

1 INTRODUZIONE

1.1 Scopo dello studio

L'obiettivo dello studio è quello di validare, mediante il confronto con rilievi sperimentali termici ed idrologici, l'approccio teorico posto alla base del modello attualmente utilizzato da Endesa per la valutazione dell'impatto termico prodotto nel fiume Po dalla centrale termoelettrica di Ostiglia, nell'attuale assetto di funzionamento, a seguito dello scarico delle acque calde provenienti dal circuito di raffreddamento dei condensatori.

La centrale termoelettrica di Ostiglia (Mantova), di proprietà di Endesa Italia, è attualmente costituita da tre gruppi a ciclo combinato (gruppi 1, 2 e 3) da 380 MW e da un gruppo di tipo tradizionale (gruppo 4) da 330 MW per una potenza totale installata di 1470 MW. Per il ciclo di raffreddamento, l'impianto utilizza acqua prelevata dal fiume Po nella misura massima di 40 m³/s.

In considerazione delle più critiche condizioni idrologiche del corpo idrico ricettore, la Provincia di Mantova, all'atto del rilascio dell'autorizzazione allo scarico delle acque reflue industriali della centrale, ha richiesto ad Endesa di fornire opportuna validazione del modello di bilancio termico che, attualmente, valuta l'incremento termico in Po in base ad una legge di correlazione tra il livello e la portata di quest'ultimo ricavata con riferimento a misure eseguite nei siti di Sermide e di Borgoforte, rispettivamente per livelli del Po ad Ostiglia superiori od inferiori ad un determinato valore di soglia come si illustrerà nel seguito.

In particolare è richiesta la presentazione al Servizio Acque e Suolo – Protezione Civile della Provincia di Mantova e ad ARPA – Dipartimento di Mantova di:

“una relazione di verifica che riporti i dati delle campagne di misura delle temperature da effettuarsi in occasione delle variazioni di livello del fiume e delle potenze erogate dalla Centrale, al fine di implementare il modello di correlazione livello – portata del fiume Po, elaborato da Endesa Italia (nota prot. N. 530/04).” [Rif. 1]

Il presente studio analizza il modello di bilancio termico sviluppato da Endesa ed attualmente in uso presso la centrale, alla luce delle misure termiche e idrologiche condotte da CESI in due campagne di misura eseguite, nel corso del corrente anno, in corrispondenza di due diverse condizioni idrologiche del fiume Po e, conseguentemente, di due differenti assetti di funzionamento della centrale.

1.2 Articolazione delle attività

L'analisi della dispersione del pennacchio termico dovuto allo scarico delle acque di raffreddamento della centrale è condotta con riferimento a due differenti condizioni idrologiche del corpo idrico superficiale interessato dal prelievo e dallo scarico delle acque di raffreddamento dei condensatori. Tali condizioni idrologiche, di morbida e di magra, sono state selezionate in modo da considerare condizioni ambientali tipiche del sito ed ottenere risultati conservativi riguardo agli obiettivi dello studio.

Sulla base delle considerazioni sopra esposte, lo studio è stato articolato nelle seguenti fasi:

1. *Analisi del modello di bilancio termico* messo a punto da Endesa per la valutazione della dispersione termica in funzione della potenza erogata dalla centrale, basato sulla correlazione livello – portata del fiume Po ricavata a Sermide (a valle di Ostiglia) ed opportunamente adattata ad Ostiglia.
2. *Analisi dell'affinamento del suddetto modello di bilancio termico* recentemente messo a punto da Endesa ricavando la correlazione livello – portata del fiume Po ad Ostiglia dai rilievi sperimentali estesi e continuativi condotti da ARPA alla stazione di Borgoforte (a monte di Ostiglia).
3. *Esecuzione ed analisi di due campagne* di misura condotte per il rilievo di parametri termici ed idrologici del fiume Po.
4. *Confronto* tra i valori degli incrementi termici previsti dai due modelli teorici sviluppati da Endesa e quelli ricavati dalle misure di campo eseguite da CESI.

Il contenuto operativo di ciascuna delle fasi sopra citate è ampiamente descritto nei successivi capitoli.

1.3 Documenti di riferimento

- Rif. 1 Provincia di Mantova. Determinazione n. 3058 – 2006 Oggetto: “Autorizzazione allo scarico in corso d’acqua superficiale delle acque reflue industriali (raffreddamento) provenienti dalla centrale termoelettrica della Endesa Spa sita in via Abetone Brennero km 239, Ostiglia.”
- Rif. 2 Google Earth: A 3D interface to the planet - <http://earth.google.com>
- Rif. 3 http://www.endesaitalia.it/gallery/centrali_ostiglia.htm
- Rif. 4 Endesa Italia. Centrale termoelettrica di Ostiglia. “Rinnovo autorizzazione allo scarico in C.I.S. di acque reflue industriali. Realizzazione di un modello di correlazione Livello/Portata fiume Po e studio della dispersione termica in funzione della potenza erogata dalla Centrale di Ostiglia.” Relazione Tecnica. Agosto 2004. Documento inviato alla Provincia di Mantova, Settore Tutela Ambientale con lettera di trasmissione 14 settembre 2004, Prot. 530/04 avente per oggetto: “Determinazione n° 1260 del 23.08.01. Autorizzazione allo scarico in corso idrico superficiale delle acque di raffreddamento condensatori.”
- Rif. 5 Endesa Italia. Centrale termoelettrica di Ostiglia. “Studio idrologico fiume Po. Realizzazione di un modello di correlazione Livello/Portata e studio della dispersione termica in funzione della potenza erogata dalla Centrale di Ostiglia in condizioni di magra eccezionale del fiume Po.” Relazione Tecnica. Luglio 2006
- Rif. 6 Misure di centrale (assetto di funzionamento e livello Po) eseguite durante la campagna di misura dell’aprile 2007 (file: *Dati fiume 05-04-07.xls*; *Rilievi del 05-04-07.xls*; *Rilievi del 06-04-07.xls*)
- Rif. 7 Comunicazione via E-mail del 20-08-2007 da Capo Sezione Esercizio c.le
- Rif. 8 http://www.arpa.emr.it/sim/?idrologia/idropluviometria_semplice&Q&Q13988. Dati ARPA Emilia Romagna
- Rif. 9 DLgs 152/06, “Norme in materia ambientale”, 3 aprile 2006 n.152 (Suppl. ordinario gazz. Uff. n. 88 del 14/04/2006)
- Rif. 10 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

2 CONDIZIONI INFLUENZANTI LA DISPERSIONE TERMICA

2.1 Premessa

Ai fini dell'analisi oggetto del presente studio è utile sottolineare che l'immissione di uno scarico termico in fiumi o canali ed in generale in acque basse con moto prevalentemente unidirezionale, dopo la fase iniziale caratterizzata da forte turbolenza è governata essenzialmente dal trasporto e dalla diffusione del pennacchio caldo.

Rimandando al paragrafo 4.3.1 per una descrizione più dettagliata dei fenomeni che caratterizzano il processo, si fa peraltro osservare che sono diversi i fattori ambientali che possono avere influenza sulla dispersione termica: le condizioni meteorologiche (variabili con la stagione) che influenzano lo scambio termico con l'atmosfera, la tipologia del fondo (presenza di erba, ghiaia, manufatti cementizi, ...), l'eventuale presenza di opere lungo il corpo idrico (pile di ponti, paratie, ...), la variabilità, anch'essa stagionale, della temperatura, della portata e del livello del corpo idrico ricettore.

A tutto ciò si aggiungono gli effetti delle caratteristiche geometriche delle opere di presa e di scarico e delle condizioni di esercizio dell'impianto.

I paragrafi che seguono descrivono tali aspetti con riferimento alla centrale di Ostiglia ed alle caratteristiche del fiume Po nel tratto immediatamente a valle dello scarico dell'impianto.

2.2 Caratteristiche dell'impianto

La centrale di Ostiglia è collocata nelle immediate adiacenze dell'abitato di Ostiglia, in provincia di Mantova, sulla sponda sinistra del fiume Po, al chilometro 239 della SS 12 Abetone - Brennero, come illustrato in Figura 1. La corografia generale dell'impianto è mostrata in Figura 2.

L'impianto preleva l'acqua di raffreddamento direttamente dal fiume Po mediante un'opera di presa (Figura 3) collocata sull'argine sinistro a circa 1000 m a monte dell'esistente ponte ferroviario e stradale che collega gli abitati di Revere e Ostiglia e la restituisce a circa 100 m a monte del medesimo ponte mediante un'opera di scarico a pelo libero (Figura 4) che scavalca l'argine sinistro stesso.

Per quanto riguarda il tratto di fiume direttamente interessato, dalla presa fino ad almeno 1000 m a valle dello scarico, esso è principalmente caratterizzato dall'emergenza costituita dall'Isola Boschina, scollegata dalla sponda sinistra del Po solo in condizioni di piena. Accanto alla singolarità naturale dell'isola, immediatamente a valle dell'opera di scarico sono inoltre presenti le singolarità artificiali costituite dal sopra citato ponte Revere – Ostiglia a cui si sono recentemente aggiunte quelle del nuovo ponte ferroviario, in corso di realizzazione per il raddoppio della linea tra Bologna e Verona lungo la direttrice Bologna Brennero (Figura 5).



Figura 1 - Carta stradale della zona comprendente il tratto di fiume tra Quingentole e Serride

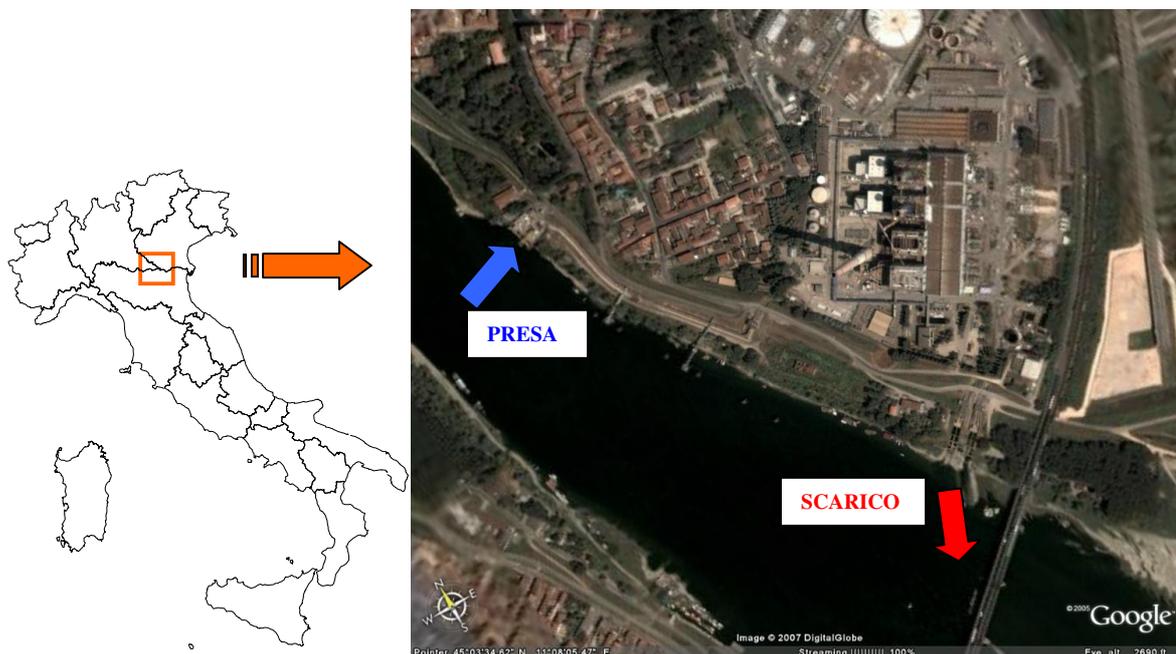


Figura 2 – Corografia generale dell'impianto con ubicazione delle opere di presa e di scarico (da Rif. 2)



Figura 3 – Vista dell'opera di presa dalla sponda destra del Po (da Rif. 3)



Figura 4 – Vista dell’opera di scarico dalla sponda destra del Po e dell’esistente ponte ferroviario - stradale che collega gli abitati di Revere ed Ostiglia



Figura 5 – Vista dalla sponda destra del fiume Po delle pile del costruendo nuovo ponte ferroviario per il raddoppio della linea Bologna – Verona (aprile 2007)

Come precedentemente sottolineato, le condizioni di aspirazione e di scarico sono legate anche al livello del fiume, che varia in un ampio intervallo di valori; ciò determina una diversa altezza di aspirazione e di scarico, quindi diversi valori di velocità all’imbocco della sezione di presa ed all’uscita della sezione di scarico. L’analisi condotta nel presente studio fa riferimento a due livelli caratteristici del fiume, corrispondenti rispettivamente al livello di magra ed al livello medio (definito livello di morbida), trascurando le situazioni di piena durante le quali le condizioni di scarico e presa sono da considerare del tutto anomale e comunque tali da non destare preoccupazioni in merito alle problematiche in gioco.

3 CORRELAZIONE LIVELLO – PORTATA DEL FIUME PO AD OSTIGLIA

3.1 Premessa

Nell'ambito del rinnovo dell'autorizzazione allo scarico in corpo idrico superficiale delle acque reflue industriali di raffreddamento dei condensatori della centrale termoelettrica di Ostiglia, Endesa ha predisposto e presentato alle autorità competenti un modello (Rif. 4) atto a descrivere la perturbazione termica prodotta sulle acque del fiume Po a seguito del suddetto scarico.

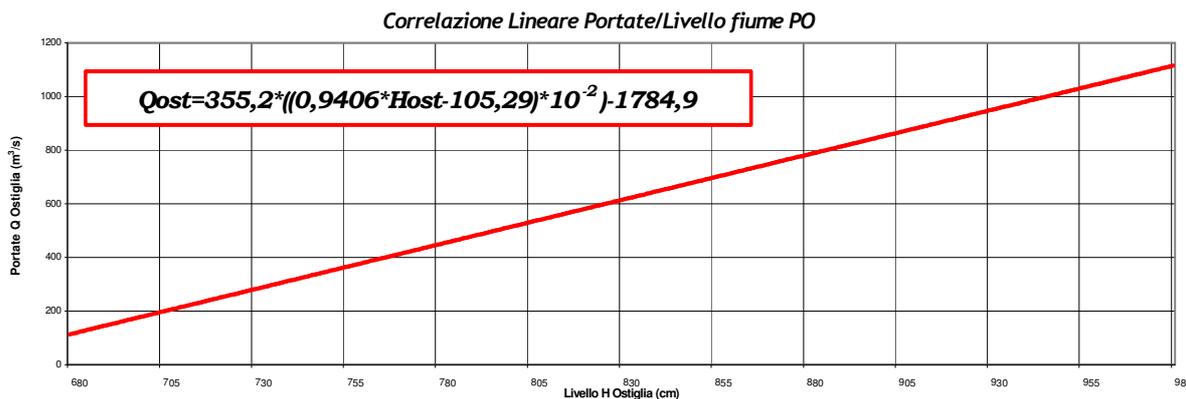
Tale modello si basa, tra l'altro, sulla correlazione esistente tra il livello e le portate ("*scala di deflusso*") del fiume Po ad Ostiglia.

Il presente capitolo descrive la scala di deflusso attualmente adottata in centrale e la pone a confronto con l'esito di due campagne di misura idrologiche condotte da CESI nell'aprile e nell'agosto del corrente anno.

3.2 Correlazione lineare

La determinazione della correlazione esistente tra il livello del fiume Po misurato presso la Centrale di Ostiglia e la portata del fiume stesso, su cui si basa il modello, è inizialmente avvenuta a partire dalla analoga correlazione ricavata alla sezione di Sermide attraverso specifiche campagne di misura condotte da ENEL - CRIS (Centro di Ricerca Idraulica e Strutturale) e ENEL - DCO (Direzione delle COstruzioni).

Rimandando al documento presentato alla Provincia di Mantova (Rif. 4) per ulteriori approfondimenti, si riporta nella seguente Figura 6 la correlazione lineare originariamente ricavata tra i livelli e le portate alla sezione di Ostiglia a partire dall'ipotesi che la portata transitante alle due sezioni sia identica ($Q_{\text{Sermide}} = Q_{\text{Ostiglia}}$) e considerando il legame esistente tra i livelli alle due sezioni.



Portata fiume Po (Q) in mc/s in funzione del livello (H) in cm																					
H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
680	113	705	197	730	280	755	364	780	447	805	531	830	614	855	698	880	781	905	865	930	948
681	116	706	200	731	283	756	367	781	450	806	534	831	617	856	701	881	785	906	868	931	952
682	120	707	203	732	287	757	370	782	454	807	537	832	621	857	704	882	788	907	871	932	955
683	123	708	207	733	290	758	374	783	457	808	541	833	624	858	708	883	791	908	875	933	958
684	126	709	210	734	293	759	377	784	460	809	544	834	628	859	711	884	795	909	878	934	962
685	130	710	213	735	297	760	380	785	464	810	547	835	631	860	714	885	798	910	881	935	965
686	133	711	217	736	300	761	384	786	467	811	551	836	634	861	718	886	801	911	885	936	968
687	136	712	220	737	303	762	387	787	470	812	554	837	638	862	721	887	805	912	888	937	972
688	140	713	223	738	307	763	390	788	474	813	557	838	641	863	724	888	808	913	891	938	975
689	143	714	227	739	310	764	394	789	477	814	561	839	644	864	728	889	811	914	895	939	978
690	146	715	230	740	313	765	397	790	481	815	564	840	648	865	731	890	815	915	898	940	982
691	150	716	233	741	317	766	400	791	484	816	567	841	651	866	734	891	818	916	901	941	985
692	153	717	237	742	320	767	404	792	487	817	571	842	654	867	738	892	821	917	905	942	988
693	156	718	240	743	323	768	407	793	491	818	574	843	658	868	741	893	825	918	908	943	992
694	160	719	243	744	327	769	410	794	494	819	577	844	661	869	744	894	828	919	911	944	995
695	163	720	247	745	330	770	414	795	497	820	581	845	664	870	748	895	831	920	915	945	998
696	166	721	250	746	334	771	417	796	501	821	584	846	668	871	751	896	835	921	918	946	1002
697	170	722	253	747	337	772	420	797	504	822	587	847	671	872	754	897	838	922	922	947	1005
698	173	723	257	748	340	773	424	798	507	823	591	848	674	873	758	898	841	923	925	948	1008
699	176	724	260	749	344	774	427	799	511	824	594	849	678	874	761	899	845	924	928	949	1012
700	180	725	263	750	347	775	430	800	514	825	597	850	681	875	764	900	848	925	932	950	1015
701	183	726	267	751	350	776	434	801	517	826	601	851	684	876	768	901	851	926	935	951	1018
702	186	727	270	752	354	777	437	802	521	827	604	852	688	877	771	902	855	927	938	952	1022
703	190	728	273	753	357	778	440	803	524	828	607	853	691	878	775	903	858	928	942	953	1025
704	193	729	277	754	360	779	444	804	527	829	611	854	694	879	778	904	861	929	945	954	1028

Figura 6 – Correlazione lineare tra i livelli e le portate alla sezione di Ostiglia (Rif. 4)

3.3 Correlazione non lineare

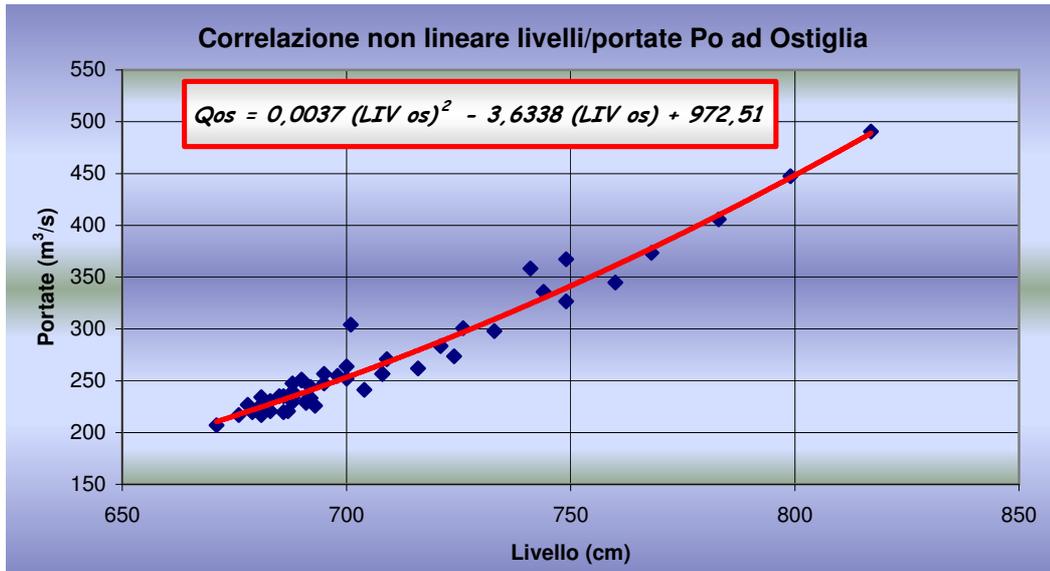
La precedente correlazione è stata modificata da Endesa nell'intento di considerare anche le recenti condizioni di magra eccezionali registrate in Po che la rendevano di fatto non applicabile per i bassi livelli illustrati in Figura 6. Al fine di dare maggiore significatività al modello di calcolo Endesa ha provveduto a derivare i valori della portata del Po ad Ostiglia a partire da quelli misurati da ARPA Emilia Romagna alla stazione di Borgoforte (Rif. 5).

La determinazione della correlazione esistente tra il livello del fiume Po misurato presso la Centrale di Ostiglia e la portata del fiume stesso è avvenuta, come detto, a partire dalle misure effettuate da ARPA Emilia Romagna alla stazione di Borgoforte, posta pochi chilometri a monte di Ostiglia come mostrato nella mappa di Figura 1. L'ARPA Emilia Romagna fornisce giornalmente l'esito del monitoraggio delle caratteristiche idrologiche del fiume Po (portate e livelli) in diverse stazioni di misura, attraverso il proprio sito internet (Rif. 8).

Nuovamente, l'ipotesi posta a base del modello di calcolo proposto è che la portata del fiume Po transitante nella sezione di Ostiglia sia identica a quella transitante alla sezione di Borgoforte. L'ipotesi appare conservativa poiché corrisponde a trascurare i possibili apporti del fiume Mincio e del Secchia che sfociano in Po tra le due suddette sezioni. A scopo cautelativo è stata invece ipotizzata una riduzione di portata pari al 10% tra i siti di Borgoforte e di Ostiglia.

In sostanza, trascurando i possibili apporti dei corsi d'acqua sfocianti tra Borgoforte ed Ostiglia, si è invece supposto che la portata transitante ad Ostiglia sia pari al 90% di quella transitante a Borgoforte.

Correlando quindi le portate così ricavate alla stazione di Ostiglia con i corrispondenti livelli del fiume Po misurati in centrale, si è ottenuta la relazione illustrata in Figura 7.



Portata fiume Po (Q) in mc/s in funzione del livello (H) in cm																	
H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
630	152	655	180	680	212	705	250	730	292	755	338	780	389	805	445	830	505
631	153	656	181	681	214	706	251	731	293	756	340	781	391	806	447	831	508
632	154	657	182	682	215	707	253	732	295	757	342	782	394	807	450	832	510
633	155	658	183	683	217	708	254	733	297	758	344	783	396	808	452	833	513
634	156	659	185	684	218	709	256	734	299	759	346	784	398	809	454	834	515
635	157	660	186	685	219	710	258	735	300	760	348	785	400	810	457	835	518
636	158	661	187	686	221	711	259	736	302	761	350	786	402	811	459	836	521
637	159	662	188	687	222	712	261	737	304	762	352	787	404	812	461	837	523
638	160	663	190	688	224	713	263	738	306	763	354	788	407	813	464	838	526
639	161	664	191	689	225	714	264	739	308	764	356	789	409	814	466	839	528
640	162	665	192	690	227	715	266	740	310	765	358	790	411	815	469	840	531
641	164	666	194	691	228	716	268	741	311	766	360	791	413	816	471	841	533
642	165	667	195	692	230	717	269	742	313	767	362	792	415	817	473	842	536
643	166	668	196	693	231	718	271	743	315	768	364	793	418	818	476	843	539
644	167	669	197	694	233	719	273	744	317	769	366	794	420	819	478	844	541
645	168	670	199	695	234	720	274	745	319	770	368	795	422	820	481	845	544
646	169	671	200	696	236	721	276	746	321	771	370	796	424	821	483	846	546
647	170	672	201	697	237	722	278	747	323	772	372	797	427	822	486	847	549
648	171	673	203	698	239	723	279	748	325	773	374	798	429	823	488	848	552
649	173	674	204	699	240	724	281	749	326	774	377	799	431	824	490	849	554
650	174	675	206	700	242	725	283	750	328	775	379	800	433	825	493	850	557
651	175	676	207	701	243	726	285	751	330	776	381	801	436	826	495	851	560
652	176	677	208	702	245	727	286	752	332	777	383	802	438	827	498	852	562
653	177	678	210	703	247	728	288	753	334	778	385	803	440	828	500	853	565
654	179	679	211	704	248	729	290	754	336	779	387	804	443	829	503	854	568

Figura 7 – Correlazione non lineare livello – portata ad Ostiglia (Rif. 5)

3.4 Correlazione livello – portate attualmente in uso

Alla luce di quanto esposto Endesa ha adottato un modello di correlazione che unisce i due precedenti in maniera tale da ottenere risultati attendibili anche in corrispondenza dei bassi livelli del fiume Po che si possono presentare in occasione di magre eccezionali.

Il livello in corrispondenza del punto di intersezione tra le due funzioni, lineare e parabolica, precedentemente descritte è stato dunque assunto come livello “di soglia” in base al quale discriminare l’utilizzo dell’una o dell’altra funzione di correlazione. In corrispondenza del livello di soglia mostrato nella seguente Figura 8, il valore calcolato da entrambi i modelli precedentemente descritti è pari a 305 mc/s.

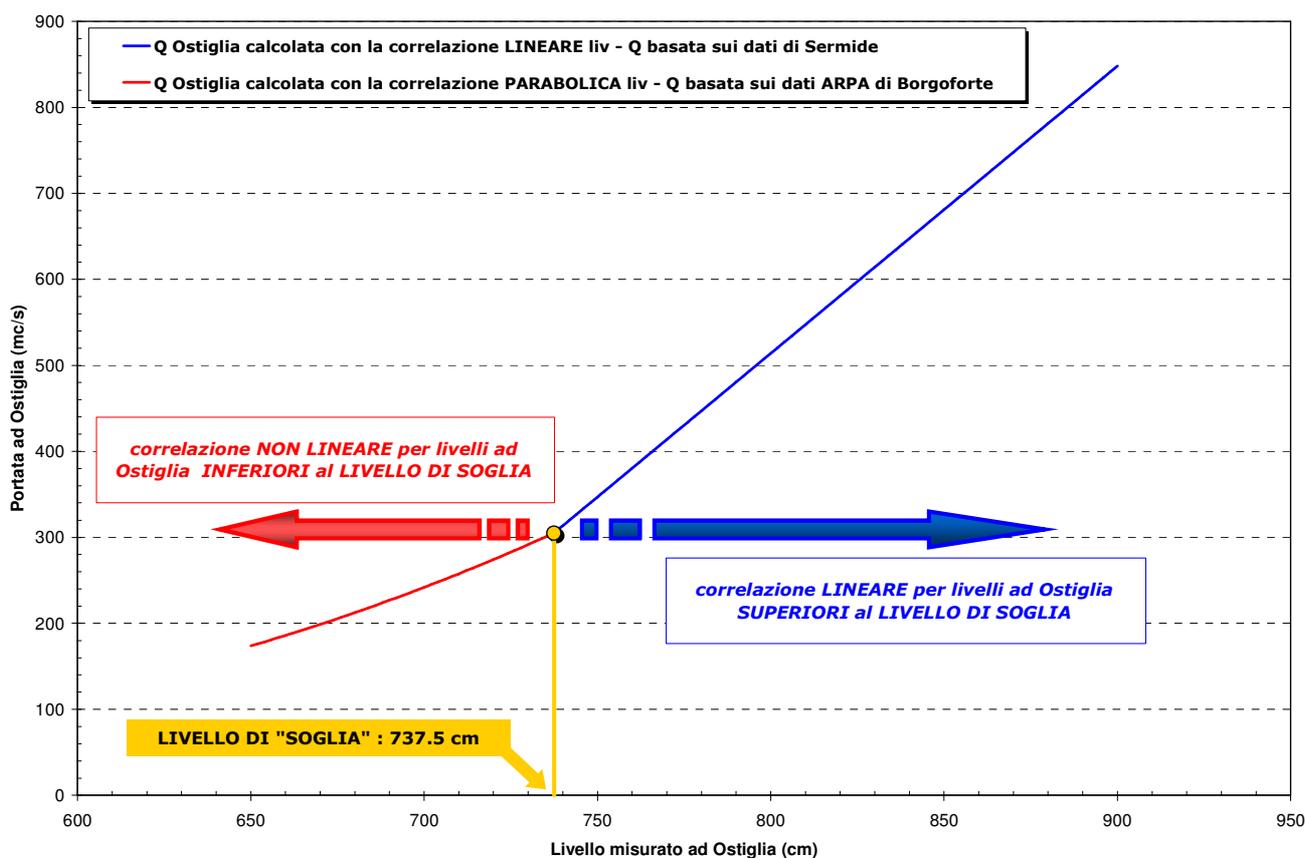


Figura 8 – Correlazione livello – portata attualmente utilizzata ad Ostiglia (Rif. 5)

3.5 Confronto tra le portate calcolate e quelle misurate

3.5.1 Premessa

Nel presente capitolo si pongono a confronto le portate misurate da CESI con quelle calcolate in base alla scala di deflusso attualmente in uso presso la centrale e descritta al paragrafo 3.4.

Si rimanda invece all'Appendice 1 per quanto concerne le modalità di esecuzione e la descrizione della strumentazione utilizzata da CESI durante le campagne di misura idrologiche condotte nell'aprile e nell'agosto del corrente anno.

3.5.2 Verifica della correlazione livello – portata del fiume Po ad Ostiglia

I giorni 6 aprile e 2 agosto 2007 sono state eseguite le misure di portata (unitamente a quelle di perturbazione termica a valle dello scarico della centrale di cui si parlerà nel prossimo specifico capitolo) transitanti alla sezione di Ostiglia. Ad esse sono state associate le misure rese disponibili da Endesa relative al livello del fiume Po (Rif. 6 e Rif. 7), monitorate in continuo dai sistemi di misura ubicati presso la centrale.

Nelle due giornate dei rilievi la portata totale transitante in Po ad Ostiglia è risultata pari a 863 mc/s e a 379 mc/s, rispettivamente per la campagna di aprile e per quella di agosto.

La Figura 9 mostra il confronto tra le portate misurate da CESI e quelle calcolate in base al modello di correlazione “ibrido” (parabolico per i bassi livelli e lineare per quelli superiori al livello di soglia precedentemente definito) sviluppato da Endesa. In particolare, insieme alla linea che fornisce con continuità il valore della portata prevista dal modello al variare del livello in centrale, la figura contiene i due punti singoli che si riferiscono alle portate misurate da CESI, corrispondenti ai livelli di 743.5 cm slm e di 885 cm slm rilevati in centrale contemporaneamente alle misure di CESI.

Con riferimento ai suddetti due specifici livelli, entrambi superiori al livello di soglia, appare evidente la conservatività della scala di deflusso adottata da Endesa che sottostima la portata effettivamente transitante ad Ostiglia misurata nei due giorni del rilievo.

In particolare, la portata misurata ad Ostiglia il 2 agosto 2007 (con livello del Po pari a 743.5 cm slm) risulta superiore del 16.6% rispetto a quanto previsto dal modello di correlazione attualmente in uso; con riferimento, invece, alla portata misurata ad Ostiglia il 6 aprile 2007 (con livello del Po pari a 885 cm slm), essa risulta superiore dell'8.2% rispetto al modello di correlazione adottato evidenziando una netta diminuzione (-50%) della differenza tra valore stimato e valore calcolato all'aumentare delle portate transitanti.

A titolo di confronto, la Figura 10 che segue contiene l'andamento della portata registrata alla stazione di Borgoforte (Rif. 8) dal 21 luglio al 12 dicembre 2007. In particolare il giorno della campagna estiva, mentre CESI rilevava ad Ostiglia la portata di 379 mc/s, alla stazione di Borgoforte ARPA Emilia Romagna misurava 355 mc/s evidenziando quindi un incremento di portata tra le due stazioni pari al 6.7%.

Limitatamente alla situazione riscontrata il 2 agosto del corrente anno, appare dunque particolarmente conservativa l'ipotesi utilizzata da Endesa di trascurare i possibili apporti dei corsi d'acqua sfocianti tra Borgoforte ed Ostiglia e, anzi, di considerare una perdita del 10% della portata lungo tale tragitto.

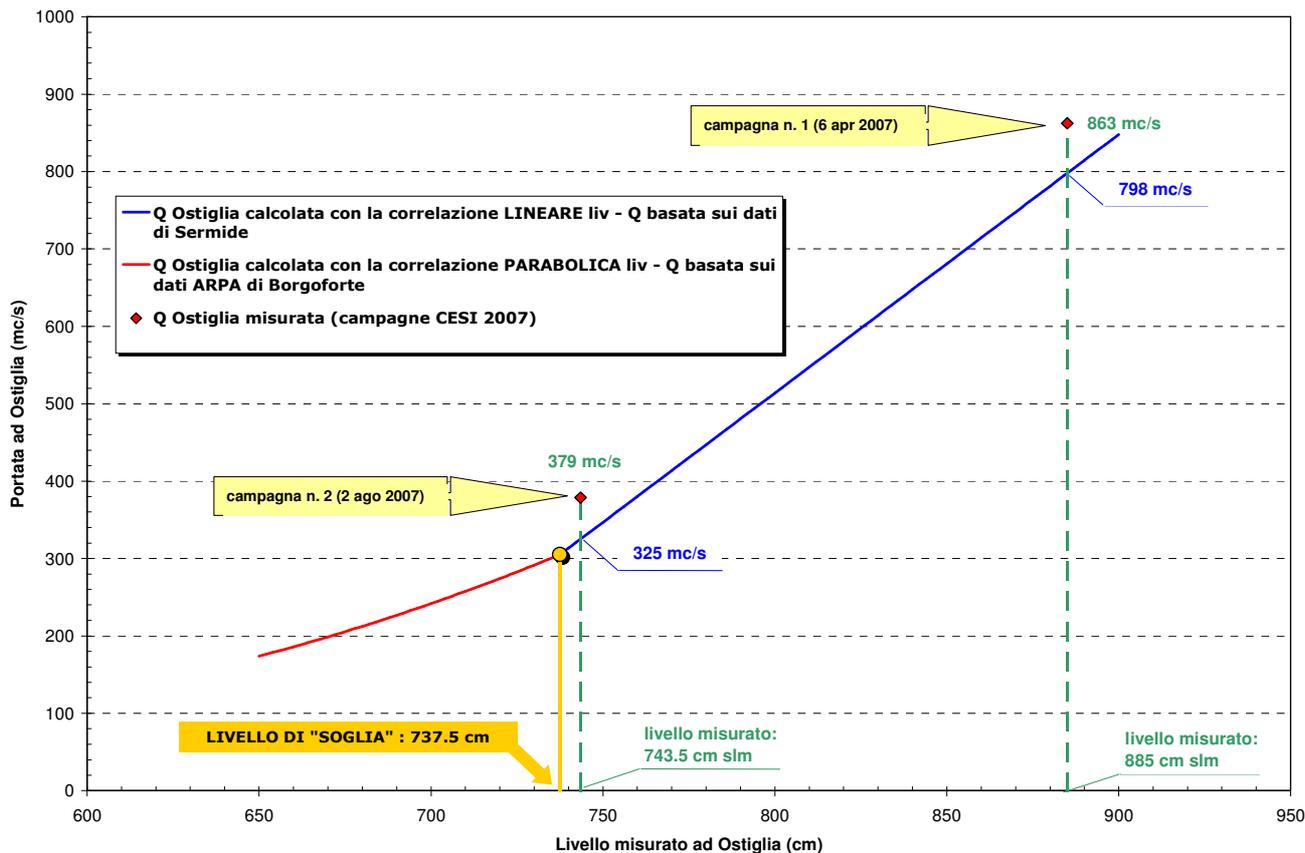


Figura 9 – Confronto tra la portata misurata ad Ostiglia (campagne CESI 2007) e quella calcolata in base al modello "ibrido" sviluppato da Endesa

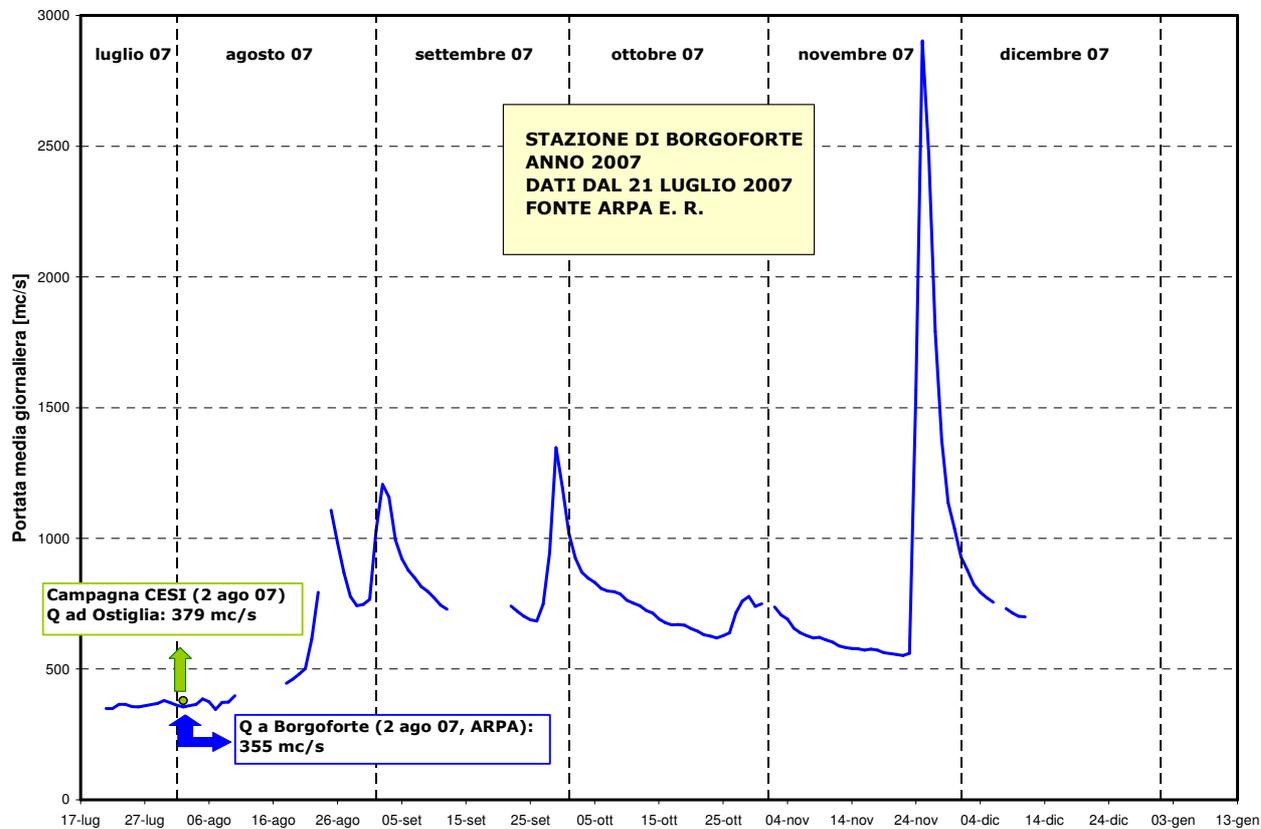


Figura 10 – Portata del fiume Po rilevata da ARPA Emilia Romagna alla stazione di Borgoforte (da Rif. 8)

4 PERTURBAZIONE TERMICA IN PO

4.1 Premessa

La verifica del rispetto dei limiti di legge (Rif. 9 e Rif. 10) relativi agli scarichi termici in corsi d'acqua naturali richiede che vengano eseguite misure puntuali di temperatura tali da consentire la stima dell'incremento termico medio dell'intera sezione fluviale a valle dello scarico e della metà "più fredda" della medesima sezione, rispetto ad una sezione di riferimento indisturbata posta a monte dello scarico.

I giorni 5 e 6 aprile e 2 agosto 2007 sono state eseguite le misure di portata, oggetto del precedente capitolo 3, e di perturbazione termica a valle dello scarico della centrale termoelettrica di Ostiglia.

Unitamente alle misure eseguite da CESI sono stati resi disponibili da Endesa i dati (contemporanei alle misure) relativi all'assetto di funzionamento dell'impianto ed al livello del fiume Po (Rif. 6 e Rif. 7), rilevati in continuo dai sistemi di misura ubicati presso la centrale.

La combinazione delle due serie di misure ha dunque consentito di accostare al funzionamento effettivo della centrale il conseguente impatto termico, generato nelle acque del fiume Po a valle dello scarico.

Nel seguito vengono riportati, dopo una breve descrizione della campagna di misura, i risultati dell'indagine e delle successive elaborazioni condotte in merito alla verifica del rispetto dei limiti di legge nelle condizioni ambientali (di morbida e di magra) e di funzionamento dell'impianto (massimo carico) presenti al momento delle campagne.

Il presente capitolo descrive, infine, il confronto tra l'esito delle suddette campagne di misura e le previsioni di impatto termico in Po derivanti dall'applicazione, nelle medesime condizioni ambientali e di funzionamento dell'impianto, del modello di bilancio termico (Rif. 4) messo a punto da Endesa.

Si rimanda invece alle Appendici 2, 3 e 4 per quanto concerne le modalità di misura e di calcolo dell'impatto termico, e la documentazione relativa alle due campagne (fogli raccolta dati).

4.2 Misure termiche in Po

4.2.1 Determinazione delle sezioni di misura

La metodologia (Rif. 9 e Rif. 10) di verifica del rispetto dei limiti di legge fa riferimento al D.Lgs n° 152/06 che, nell'allegato 5 alla Parte Terza (*Limiti di emissione degli scarichi idrici*), punto 1 (*Scarichi in corpi d'acqua superficiali*), tabella 3 (*Valori limite di emissione in acque superficiali e in fognatura*), parametro 2 (*temperatura*), nota 1, recita tra l'altro:

“Per i corsi d'acqua la variazione massima tra temperature medie di qualsiasi sezione del corso d'acqua a monte e a valle del punto di immissione non deve superare i 3 °C. Su almeno metà di qualsiasi sezione a valle tale variazione non deve superare 1 °C.”

La legislazione vigente richiede che la verifica dei limiti di legge avvenga misurando l'incremento termico tra una qualsiasi sezione a monte e a valle del punto di immissione dello scarico.

All'atto dell'esecuzione pratica del rilievo si deve inoltre considerare che, al fine di garantire la significatività delle misure, l'operatore deve poter leggere un segnale proveniente dallo strumento di misura che si mantenga ragionevolmente stabile o comunque variabile in un limitato *range*. Ciò esclude la scelta di sezioni troppo vicine al punto di restituzione delle acque reflue, dove la turbolenza è tale da impedire un rilievo corretto a causa dell'elevata variabilità del segnale di misura.

Oltre a quanto prescritto dalla normativa e a quanto deriva dalla sensibilità e dall'esperienza dell'operatore che esegue la misura, è altresì ovvio che la scelta delle sezioni di misura a valle dello scarico deve rispondere anche alle inevitabili necessità e difficoltà che possono di volta in volta presentarsi durante il rilievo. Nello specifico delle campagne sperimentali in oggetto, si è dovuto far fronte all'impossibilità di movimentazione in alcune aree dell'alveo del natante utilizzato per il rilievo, a

causa dei lavori in corso per la costruzione delle pile del nuovo ponte ferroviario a valle dello scarico. In particolare, come mostra la Figura 11, per la costruzione delle nuove pile è stato predisposto il riporto di considerevoli quantità di materiale alla base delle stesse, a partire dalla sponda sinistra progredendo verso la sponda destra. La presenza di tale materiale, che ha impedito il flusso del Po restringendone, di fatto, la sezione, ha anche reso impossibile regolari operazioni di misura in quell'area. La situazione di non navigabilità si è inevitabilmente aggravata durante la seconda campagna di misure a causa dei bassi livelli (magra estiva) presenti in Po.



Figura 11 – Materiale di riporto alla base delle pile del nuovo ponte ferroviario a valle dello scarico (foto CESI aprile 2007)

La prima sezione utile ai rilievi (“*sezione calda*”) che fosse cioè rappresentativa di condizioni indisturbate e che, al contempo, consentisse una regolare ispezione, è stata individuata a circa 900 m a valle dello scarico. L'esito della misura è stato inoltre tale da garantire il rispetto dei limiti di legge anche per tutte le sezioni a valle di quella rilevata.

Non si sono invece incontrati problemi nell'individuazione della sezione indisturbata (“*sezione fredda*”), scelta a monte della sezione di presa, in cui si è proceduto a misurare la temperatura naturale del corpo idrico ricettore non perturbata dalla restituzione delle acque reflue calde. Entrambe le sezioni di misura sono illustrate nella mappa del sito contenuta in Figura 12.

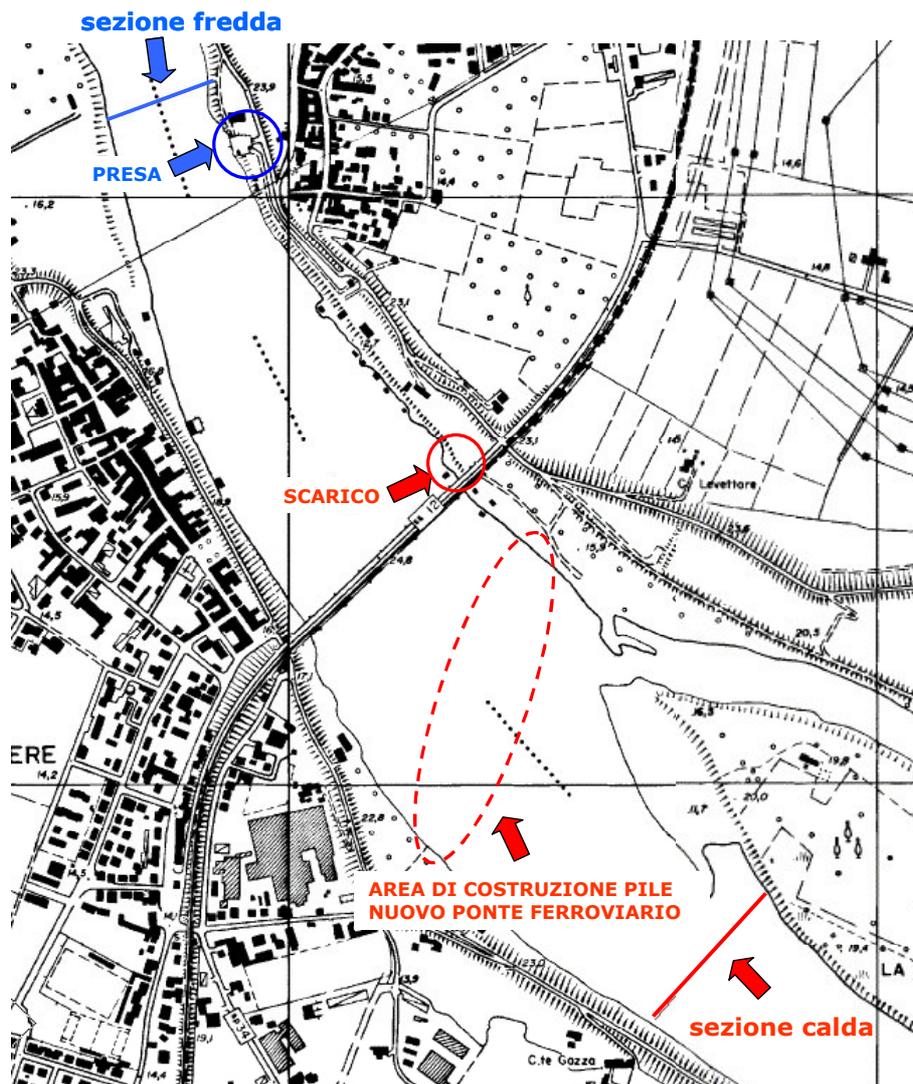


Figura 12 – Ubicazione delle sezioni di misura della campagna di rilievi termici a fiume

4.2.2 Risultati delle misure termiche

Nelle due giornate dei rilievi la centrale termoelettrica Endesa di Ostiglia ha funzionato con i gruppi in servizio a carico elevato con 707 MWe (Rif. 6) e 660 MWe (Rif. 7) di potenza attiva (risultanti dalla somma della potenza del gruppo 4, 315 MWe, e di quella delle sezioni a vapore delle 3 unità a ciclo combinato in quanto la componente a turbogas non ha alcun impatto sul fiume) rispettivamente per la campagna di aprile (5 aprile) e per quella di agosto (2 agosto). Parallelamente, le portate delle acque di raffreddamento prelevate e scaricate in Po sono state pari a circa 29 m³/s.

La portata transitante alla sezione di Ostiglia è stata rilevata da CESI (si veda per maggiori dettagli il capitolo 3) durante le suddette campagne ed è risultata di 863 m³/s e di 379 m³/s rispettivamente per la campagna di aprile e per quella di agosto.

I dati di temperatura relativi ai rilievi termici effettuati sono riportati nei fogli raccolta dati in Appendice 3 e 4 al presente rapporto, rispettivamente per le due campagne di aprile e di agosto.

Il prospetto in Tabella 1 riassume l'esito delle elaborazioni condotte sui rilievi termici effettuati ad Ostiglia. La tabella contiene anche i valori limite stabiliti dalla legislazione vigente per entrambi i parametri $\Delta T_{100\%}$ e $\Delta T_{50\%}$.

Tabella 1 – Esito dei rilievi termici condotti da CESI ad Ostiglia

SEZIONE	T _{media} della sezione [°C]	$\Delta T_{100\%}$ [°C] intera sezione	Limite di legge [°C]	$\Delta T_{50\%}$ [°C] metà sezione	Limite di legge [°C]
CAMPAGNA APRILE 2007					
fredda	14.04				
calda		0.55	3	0.04	1
CAMPAGNA AGOSTO 2007					
fredda	25.19				
calda		1.35	3	0.53	1

Il confronto tra i valori rilevati in condizioni di massimo carico e quelli limite stabiliti dalla legislazione vigente evidenzia che l'incremento termico in Po, prodotto dallo scarico delle acque di raffreddamento della centrale e valutato secondo i criteri previsti dalla legge, è sempre al di sotto dei limiti fissati. Tale circostanza si verifica anche nelle condizioni particolarmente critiche della campagna dell'agosto 2007 durante la quale, all'assetto produttivo di massimo carico della centrale, si sommano le condizioni idrologiche sfavorevoli (magra estiva) del corpo idrico ricettore.

L'esito dei rilievi termici complessivamente condotti non evidenzia situazioni potenzialmente critiche per entrambe le campagne di misura.

4.3 Confronto tra il modello di bilancio termico e le misure di campo

4.3.1 Fenomeni fisici che regolano la dispersione della perturbazione termica

Al confronto tra l'esito delle campagne di misura e quello dell'applicazione del modello teorico di bilancio termico (descritto in Rif. 4 e mantenuto invariato in Rif. 5), oggetto del prossimo paragrafo, si ritiene utile premettere una breve descrizione delle complesse fenomenologie che regolano l'immissione e la dispersione di un getto caldo in un flusso idrico naturale (fiume, mare) o artificiale (canale).

Il processo di assorbimento e trasporto (“*entrainment*”) di un getto (“*jet*”) caldo nell'ambiente ricettore può essere descritto considerando l'interazione tra due strati adiacenti di fluido in moto a diversa velocità. La combinazione di diversi meccanismi produce l'accelerazione dello strato più lento ad opera di quello più veloce. Uno dei meccanismi che contribuiscono a tale accelerazione è la forza di taglio viscosa esistente nella zona di contatto tra i due strati, che provoca il trascinamento del fluido più lento ad opera di quello più veloce.

Il fenomeno a cui corrispondono i maggiori effetti in termini di rimescolamento e trasporto è però quello della turbolenza. La vorticità che si viene a creare al confine del getto caldo provoca infatti la “cattura” di consistenti quantità di fluido ricettore (fluido “ambiente”) che vengono quindi trascinate insieme al getto caldo. L'azione turbolenta, oltre al trascinamento nella direzione del getto, provoca anche il rimescolamento dei due fluidi.

Accanto ai meccanismi ora descritti deve inoltre essere considerato l'effetto della diversa densità dei due fluidi, legata alla loro diversa temperatura, che produce il galleggiamento del getto caldo. Le forze complessivamente agenti sono quindi quelle viscosive, quelle turbolente e quelle di galleggiamento che producono una risalita in superficie del getto caldo e, dunque, un moto secondario del flusso caldo rispetto a quello del fluido “ambiente”. Anche questo moto secondario contribuisce al fenomeno complessivo di inglobamento e trasporto, generando a sua volta nuove forze viscosive e turbolente.

La combinazione di tutti questi effetti genera l'aumento del volume del getto caldo all'aumentare dell'inglobamento di fluido “ambiente”. Per la legge di conservazione della massa, il fluido “ambiente” inglobato deve essere sostituito da altro fluido proveniente dal corpo idrico ricettore, e questo provoca, a sua volta, un flusso netto di fluido dal fiume al getto. Il processo di “*entrainment*” è in sostanza il

risultato di uno scambio di momento tra il getto caldo ed il fluido “ambiente”; tale scambio è più marcato in prossimità del punto di scarico, dove sono più elevate le velocità relative tra i due fluidi, e tende a diminuire a mano a mano che il getto caldo viene ad essere inglobato nel fluido “ambiente” perdendo velocità (e dunque momento).

Ad una certa distanza dal punto di scarico, il momento del getto caldo è completamente esaurito ed i fenomeni fisici che prendono il sopravvento sono legati alla turbolenza “naturale” del corpo idrico ricettore ed alla diffusione molecolare del getto caldo. La conformazione di quest’ultimo si è ora pesantemente modificata, tanto che la terminologia scientifica sull’argomento, lo ridefinisce col termine specifico di “pennacchio caldo” (“*plume*”). La turbolenza “naturale”, che prevale sulla diffusione molecolare legata al moto casuale delle molecole nel fluido, provoca un ulteriore rimescolamento ai bordi del pennacchio caldo. Tale rimescolamento è decisamente più contenuto rispetto a quello prodotto dalla forte turbolenza del getto nell’area di scarico e dalla presenza di un moto relativo tra i due fluidi, effetti che, a distanza dallo scarico, si riducono o vengono a mancare.

La trasformazione da “getto” a “pennacchio” che si muove liberamente con il fluido “ambiente”, avviene gradualmente e l’area di transizione tra una conformazione e l’altra definisce il confine tra i cosiddetti “campo vicino” (“*near field*”) e “campo lontano” (“*far field*”).

La trattazione matematica delle complesse fenomenologie ora descritte è tuttora oggetto di studi e di ricerche specifiche che si basano, ove possibile, sull’esito di misure di campo e su quello di misure in ambiente “controllato”, tipico, quest’ultimo, dei modelli fisici in scala ridotta dei suddetti processi. Peraltro, le fenomenologie che avvengono nel “campo vicino” e nel “campo lontano” sono così differenti che solo studiandole distintamente è possibile giungere a previsioni ragionevoli ed accurate della dispersione dell’effluente caldo. Tale approccio dovrebbe riguardare anche il trattamento della zona di transizione tra le due aree suddette. E’ quindi evidente, soprattutto dal punto di vista della trattazione matematica della dispersione termica, la necessità di introdurre diverse semplificazioni affinché le numerose variabili coinvolte possano essere determinate.

Senza entrare in dettagli che esulano dall’oggetto della presente relazione, è però importante chiarire che, qualsiasi sia l’approccio che si decide di adottare per giungere ad una definizione quantitativa dell’impatto termico prodotto dallo scarico di acque calde nel fluido ricettore, esso deve necessariamente introdurre delle semplificazioni. Lo stesso approccio sperimentale, inteso come misura in campo della perturbazione, semplifica la descrizione quantitativa del fenomeno rilevandolo in un numero necessariamente discreto di verticali lungo una serie di sezioni ugualmente discrete. E’ infatti ovviamente impossibile il rilievo della temperatura in *tutti* i punti del volume liquido a valle dello scarico.

La messa a punto di modelli di calcolo matematicamente “raffinati” è ancora necessariamente confinata alla verifica di condizioni estreme, sia dal punto di vista ambientale sia da quello dell’assetto d’impianto. E’ infatti impensabile l’utilizzo di tali modelli per la gestione quotidiana dell’esercizio di una centrale termoelettrica poiché i tempi di calcolo, talvolta dell’ordine di giorni, associati a tali modelli sono assolutamente incompatibili con quelli necessari alla gestione dell’impianto.

Il modello messo a punto da Endesa si basa sul bilancio, termico e di massa, tra due sezioni poste a monte e a valle dello scarico, nell’ipotesi in cui, superata la fenomenologia tipica del campo vicino, si sia già in quella che caratterizza il campo lontano per il quale si assume inoltre la condizione di completa miscelazione. Le approssimazioni introdotte consentono di semplificare il processo di calcolo fornendo i risultati in tempi compatibili con la gestione della centrale. L’“errore” implicito derivante dalle suddette semplificazioni è stimato e descritto al paragrafo seguente.

4.3.2 Confronto tra gli incrementi termici calcolati e quelli misurati

La Tabella 2 che segue riassume, ponendoli a confronto, gli incrementi termici provocati in Po in seguito allo scarico delle acque di raffreddamento dell'impianto, risultanti dall'applicazione del modello di bilancio termico attualmente in uso presso la centrale, sia dalle misure termiche condotte da CESI e precedentemente illustrate.

Tabella 2 – Incrementi di temperatura stimati secondo il modello di bilancio termico in uso e misurati

data delle campagne di misura CESI	livello fluviale MISURATO [m slm]	portata MISURATA da CESI [mc/s]	portata Q CALCOLATA secondo la correlazione liv-Q in uso [mc/s]	INCREMENTO MEDIO della temperatura nel Po CALCOLATO secondo il modello di bilancio termico in uso [°C]	INCREMENTO MEDIO della temperatura del Po MISURATO da CESI lungo la sezione calda a valle dello scarico [°C] (limite di legge 3.0 °C)
02-ago-07	7.435	379	325	0.82	1.35
05/06-apr-07	8.850	863	798	0.35	0.55

Entrambe le previsioni numeriche degli incrementi di temperatura in Po, appaiono inferiori a quelle ricavate dalle misure alla sezione calda secondo i criteri stabiliti dalla legislazione vigente. La differenza tende a diminuire se si fa riferimento alla campagna di aprile, in presenza cioè di maggiori livelli e, dunque, di maggiori portate transistanti, mentre appare più marcata nelle più critiche condizioni di magra estiva.

In considerazione della estrema complessità delle fenomenologie che regolano l'immissione e la dispersione di un getto caldo in un corpo idrico superficiale, già ampiamente richiamate al precedente paragrafo 4.3.1, a cui si aggiunge l'influenza, fortemente sito – specifica, esercitata dalle condizioni meteorologiche, dalla tipologia del fondo, dalla variabilità della temperatura, della portata e del livello del corpo idrico ricettore, dall'eventuale presenza di opere lungo il corpo idrico, oltre che dalle stesse caratteristiche geometriche delle opere di presa e di scarico, è possibile classificare come senz'altro accettabili gli scarti esistenti tra la misura strumentale degli incrementi termici e la stima derivante dall'applicazione del modello di calcolo.

E' dunque possibile concludere che l'esito del confronto tra i risultati del modello teorico di bilancio termico e le misure di campo è più che soddisfacente e consente di valutare positivamente l'affidabilità complessiva del modello stesso, ferme restando le differenze riscontrate.

Tali differenze non hanno peraltro evidenziato alcun superamento dei vigenti limiti di legge, sia nelle condizioni di morbida del fiume Po sia in quelle di magra estiva, entrambe verificate in assetto di massimo carico dell'impianto.

5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

5.1 Premessa

Il presente studio si è posto come obiettivo quello di validare, mediante il confronto con rilievi sperimentali termici ed idrologici, l'approccio teorico posto alla base del modello attualmente utilizzato da Endesa Italia per la valutazione dell'impatto termico prodotto nel fiume Po dalla centrale termoelettrica di Ostiglia, nell'attuale assetto di funzionamento, a seguito dello scarico delle acque calde provenienti dal circuito di raffreddamento dei condensatori.

La richiesta di validazione del modello di bilancio termico, formulata dalla Provincia di Mantova all'atto del rilascio dell'autorizzazione allo scarico delle acque reflue industriali della centrale, scaturisce dalla necessità di verificare la bontà dello strumento di previsione della perturbazione termica indotta nel fiume Po in considerazione delle più critiche condizioni idrologiche di quest'ultimo.

In particolare è richiesta la presentazione al Servizio Acque e Suolo – Protezione Civile della Provincia di Mantova e ad ARPA – Dipartimento di Mantova di:

“una relazione di verifica che riporti i dati delle campagne di misura delle temperature da effettuarsi in occasione delle variazioni di livello del fiume e delle potenza erogata dalla Centrale, al fine di implementare il modello di correlazione livello – portata del fiume Po, elaborato da Endesa Italia (nota prot. N. 530/04).” [Rif. 1]

Endesa Italia ha dunque richiesto a CESI di eseguire una serie di misure (di temperatura e di portata) presso il sito di Ostiglia con cui predisporre la documentazione necessaria alla verifica della validità del modello numerico, in condizioni di portata di morbida primaverile e di magra estiva del fiume Po, e di elevato carico dei gruppi dell'impianto.

5.2 Sintesi dei principali risultati

Rimandando ai rispettivi capitoli per i necessari approfondimenti, si riassume nel seguito l'esito della validazione relativamente ai diversi aspetti analizzati nel corso dello studio.

Verifica della correlazione livello – portata del fiume Po ad Ostiglia

Con riferimento alle situazioni riscontrate nei giorni delle due campagne di misura, primaverile (6 aprile) ed estiva (2 agosto), è apparsa evidente la conservatività del modello di correlazione messo a punto da Endesa che sottostima la portata effettivamente transitante ad Ostiglia misurata nei due giorni del rilievo.

La portata misurata ad Ostiglia il 2 agosto 2007 (con livello del Po pari a 743.5 cm slm) risulta infatti superiore del 16.6% rispetto a quanto previsto dal modello di correlazione attualmente in uso; con riferimento, invece, alla portata misurata ad Ostiglia il 6 aprile 2007 (con livello del Po pari a 885 cm slm), essa risulta superiore dell'8.2% rispetto al modello di correlazione adottato, evidenziando una netta diminuzione (-50%) della differenza tra valore stimato e valore calcolato all'aumentare delle portate transitanti.

Inoltre, con particolare riferimento al giorno 2 agosto della campagna estiva, mentre CESI rilevava ad Ostiglia la portata di 379 mc/s, alla stazione di Borgoforte ARPA Emilia Romagna misurava 355 mc/s evidenziando quindi un incremento di portata tra le due stazioni del 6.7%. Limitatamente alla situazione riscontrata il 2 agosto del corrente anno, appare dunque particolarmente conservativa l'ipotesi utilizzata da Endesa di trascurare i possibili apporti dei corsi d'acqua sfocianti tra Borgoforte ed Ostiglia e, anzi, di considerare una perdita del 10% della portata lungo tale tragitto.

Verifica delle perturbazioni termiche indotte in Po

Le previsioni numeriche degli incrementi di temperatura in Po appaiono inferiori a quelle ricavate dalle misure alla sezione calda secondo i criteri stabiliti dalla legislazione vigente. La differenza tende a diminuire se si fa riferimento alla campagna di aprile, in presenza cioè di maggiori livelli e, dunque, di maggiori portate transitanti, mentre appare più marcata nelle più critiche, e, peraltro, più rare condizioni di magra estiva.

Verifica del rispetto dei limiti di legge durante le giornate della campagna primaverile ed estiva

Il confronto tra i valori rilevati in condizioni di massimo carico e quelli limite stabiliti dalla legislazione vigente evidenzia che l'incremento termico in Po, prodotto dallo scarico delle acque di raffreddamento della centrale e valutato secondo i criteri previsti dalla legge, è sempre al di sotto dei limiti fissati. Tale circostanza si verifica anche nelle condizioni particolarmente critiche della campagna dell'agosto 2007 durante la quale, all'assetto produttivo di massimo carico della centrale, si sommano le condizioni idrologiche sfavorevoli (magra estiva) del corpo idrico ricettore.

L'esito dei rilievi termici complessivamente condotti non evidenzia situazioni potenzialmente critiche per entrambe le campagne di misura.

5.3 Considerazioni finali

In considerazione della estrema complessità delle fenomenologie che regolano l'immissione e la dispersione di un getto caldo in un corpo idrico superficiale, ampiamente richiamate al precedente paragrafo 4.3.1, a cui si aggiunge l'influenza, fortemente sito – specifica, esercitata dalle condizioni meteorologiche, dalla tipologia del fondo, dalla variabilità delle condizioni di temperatura, portata e livello del corpo idrico ricettore, oltre che dall'eventuale presenza di opere lungo il corpo idrico e dalle stesse caratteristiche geometriche delle opere di presa e di scarico, è possibile classificare come senz'altro accettabili gli scarti esistenti tra la misura strumentale degli incrementi termici e la stima derivante dall'applicazione dei modelli di calcolo.

Nell'ambito delle incertezze insite in ciascuno dei due metodi, teorico e sperimentale, adottati per la valutazione degli incrementi termici prodotti in Po a seguito dello scarico delle acque di raffreddamento, è dunque possibile concludere che l'esito del confronto tra i risultati del modello teorico di bilancio termico e le misure di campo è più che soddisfacente e consente di valutare positivamente l'affidabilità complessiva dei modelli stessi, ferme restando le differenze riscontrate.

Tali differenze non hanno peraltro evidenziato alcun superamento dei vigenti limiti di legge, sia nelle condizioni di morbida del fiume Po sia in quelle di magra estiva, entrambe verificate in assetto di massimo carico dell'impianto.

APPENDICE 1_RILIEVI IDROLOGICI

--- ---

**Modalità di esecuzione dei rilievi idrologici in Po.
Campagne di misura condotte da CESI
in aprile ed agosto 2007**

A seguito della necessità di eseguire misure di portata con elevata precisione in tempi contenuti anche in corpi idrici di grandi dimensioni, CESI ha adottato l'utilizzo di un correntometro acustico a effetto doppler (ADCP) che, pur garantendo una ridotta incertezza sul risultato (inferiore al 5%), consente tempi di rilievo molto ridotti, dell'ordine di qualche minuto, anche per sezioni fluviali aventi larghezza di qualche centinaia di metri. Tale metodologia di rilievo ha ormai sostituito misure di tipo convenzionale con mulinelli idrometrici.

Principi di funzionamento

L'ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) è un correntometro acustico basato sull'effetto Doppler che consente la misura di profili verticali di velocità del flusso idrico attraverso l'utilizzo di energia acustica. Un impulso di energia ("ping") viene trasmesso in acqua in maniera molto simile all'impulso sonar di un sottomarino, ma a una frequenza molto più alta. Nel suo percorso in acqua l'energia viene riflessa dal particolato sospeso (e in movimento) e parte di essa ritorna verso l'ADCP. Lo strumento misura lo spostamento Doppler (variazione di frequenza) dell'energia riflessa e, da esso, calcola la velocità dell'acqua relativa all'ADCP.

Utilizzando la medesima tecnica l'ADCP misura anche la propria velocità e la direzione rispetto al fondo del corpo idrico.

Profili di velocità e tracciamento del fondale

L'analisi del segnale riflesso dalle particelle presenti nell'acqua, avviene attraverso la suddivisione della colonna d'acqua in un numero discreto di elementi (celle di profondità) sovrapposti sulla verticale. L'ADCP determina la velocità e la direzione di ciascuna cella consentendo la definizione del profilo di velocità sull'intera profondità. Lo spessore delle celle di profondità è un parametro selezionabile in funzione delle caratteristiche dello strumento utilizzato; con un ADCP a 1200 kHz, per esempio, le celle possono arrivare ad avere lo spessore di 5 cm, mentre con un sistema a 600 kHz lo spessore minimo è di 10 cm. Anche in corpi idrici poco profondi è dunque possibile effettuare simultaneamente un numero significativo di misure in maniera da definire dettagliatamente i profili verticali.

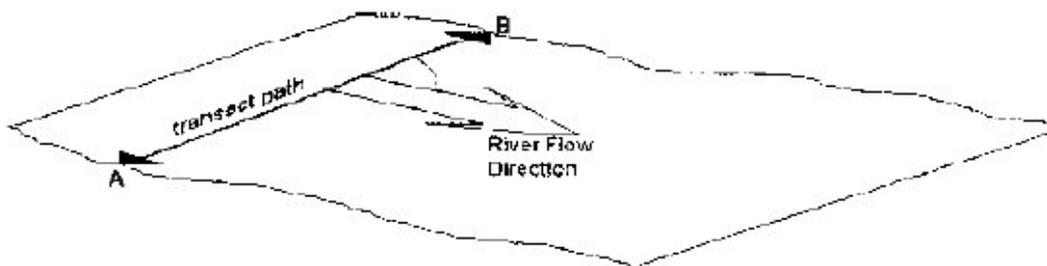
L'opzione *bottom tracking* (tracciamento del fondo del corpo idrico) consente invece di misurare le velocità e le direzioni assolute dello strumento rispetto al fondo. La sottrazione della velocità assoluta dello strumento da quella apparente (cioè relativa) dell'acqua, consente di ricavare la velocità assoluta del fluido rispetto al fondo.

Misure di portata

Una tipica misura della portata si ottiene utilizzando diversi transetti di misura. Facendo riferimento alla figura seguente, la prima misura di portata ($\Sigma Q1$) si riferisce al primo transetto che collega, trasversalmente al corso d'acqua, il generico punto A al generico punto B. La seconda misura ($\Sigma Q2$) della portata totale transitante si riferisce al secondo transetto che dal punto B (od in sua prossimità) si ricollega al punto A (o vicino ad esso). Le misure tra A e B andrebbero ripetute fino al rilievo di un minimo di quattro transetti di misura.

La portata fluente nel fiume risulterà dalla media degli N valori ricavati dalle misure lungo gli N transetti, vale a dire:

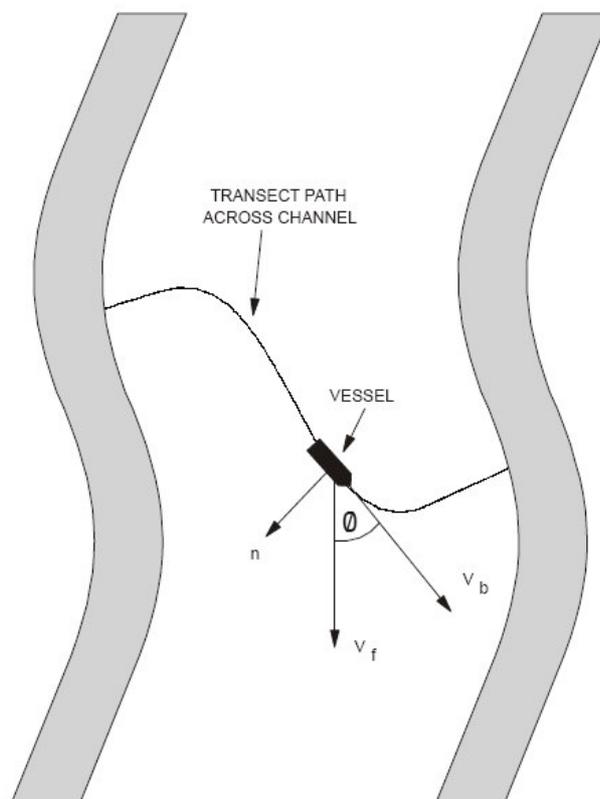
$$\Sigma Q = \frac{(\Sigma Q_1 + \Sigma Q_2 + \Sigma Q_3 + \Sigma Q_4 + \dots)}{N}$$



Transetto di misura

La portata è il flusso cumulato attraverso una sezione perpendicolare al percorso dell'imbarcazione (figura seguente). Questo comporta (per la legge di Stokes) che il transetto di misura può seguire un generico percorso tra le due sponde, non necessariamente rettilineo.

L'ADCP misura infatti il percorso effettivo dell'imbarcazione ricavandolo dai cambiamenti della posizione della barca. In aggiunta, misura il flusso attraverso l'intero profilo verticale. In tal modo non è necessario seguire, o cercare di seguire, un percorso rettilineo. Ciò rende più semplice e più sicuro eseguire misure di portata anche in condizioni solitamente critiche, per esempio in presenza di portate molto elevate (eventi di piena), di siti di intenso traffico o di letti fluviali molto ampi.



Il calcolo della portata è indipendente dal percorso di misura

Le misure di portata eseguite da CESI nelle campagne di aprile e di agosto sono state condotte mediante il correntometro acustico a effetto Doppler RD Instruments Workhorse Rio Grande ADCP 1200 kHz, le cui principali caratteristiche sono di seguito riportate.

- **Incertezza di misura sulla velocità:**
0.25% della velocità dell'acqua (relativa allo strumento) \pm 2.5 mm/s
- **Risoluzione sulla velocità misurata:**
1 mm/s
- **Range di velocità misurata:**
 \pm 3 (default) \div \pm 20 (massimo) m/s
- **Numero di celle verticali utilizzabili:**
1 \div 128
- **Minimo spessore della cella verticale di misura utilizzabile (nell'opzione *shallow water*):**
5 cm
- **Opzione di tracciamento del fondo:**
bottom tracking option
- **Opzione per l'esecuzione dei rilievi anche in acque basse:**
shallow water option.

APPENDICE 2_RILIEVI TERMICI

--- ---

**Metodologia di calcolo delle perturbazioni termiche in Po
a valle dello scarico della centrale.
Campagne di misura della temperatura condotte da CESI
in aprile ed agosto 2007**

Metodologia di verifica del rispetto dei limiti di legge

La metodologia (Rif. 9 e Rif. 10) di verifica del rispetto dei limiti di legge fa riferimento al D.Lgs n° 152/06 che, nell’allegato 5 alla Parte Terza (*Limiti di emissione degli scarichi idrici*), punto 1 (*Scarichi in corpi d’acqua superficiali*), tabella 3 (*Valori limite di emissione in acque superficiali e in fognatura*), parametro 2 (*temperatura*), nota 1, recita tra l’altro:

“Per i corsi d’acqua la variazione massima tra temperature medie di qualsiasi sezione del corso d’acqua a monte e a valle del punto di immissione non deve superare i 3 °C. Su almeno metà di qualsiasi sezione a valle tale variazione non deve superare 1 °C.”

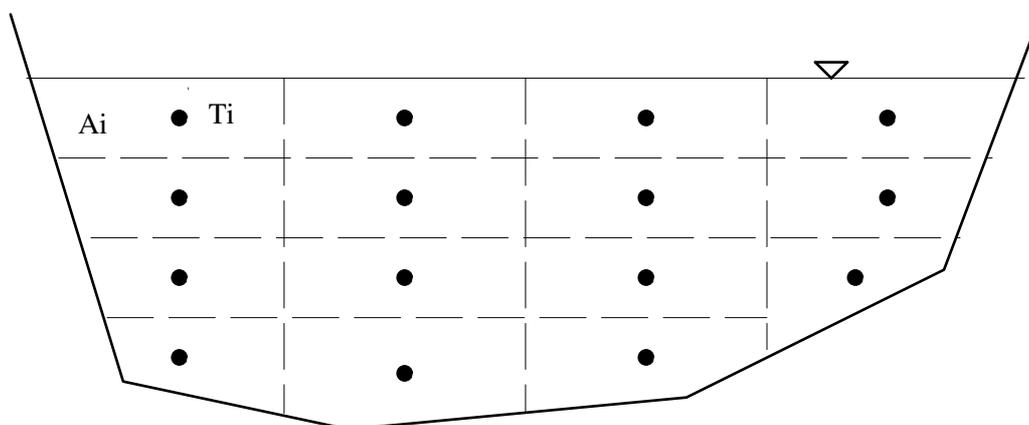
Ciò significa che in una qualunque sezione fluviale a valle dello scarico della centrale, nota la distribuzione della temperatura in funzione delle coordinate x e y (profondità e distanza dalla riva destra), è possibile calcolare la temperatura media secondo la seguente formula:

$$T_{media} = \frac{1}{A} \int T(x, y) dx dy$$

dove A è l’area della sezione e T(x,y) è la funzione di distribuzione spaziale della temperatura (campo termico). In pratica la funzione T(x,y) può essere nota solo in un numero discreto di punti della sezione (quelli in cui viene eseguita la misura) in esame e l’espressione precedente viene ad assumere la seguente forma approssimata:

$$T_{media} = \frac{\sum T_i A_i}{\sum A_i}$$

essendo T_i i valori di temperatura rilevati ai vertici del reticolo di misura e A_i l’area della superficie elementare all’interno della quale si può ritenere costante la temperatura (vedi la figura seguente).



Schema di una sezione fluviale con reticolo di misura e individuazione delle aree A_i relative a ciascun punto i di misura della temperatura T_i

Per calcolare la temperatura media sulla metà “più fredda” della sezione, si ordinano le temperature T_i in senso crescente, ciascuna con la superficie elementare associata, e si valuta la quantità:

$$T_{media} (50\%) = \frac{\sum_{i=1}^M T_i A_i}{\sum_{i=1}^M A_i}$$

in cui il valore di M è tale che la sommatoria di A_i estesa ai primi M elementi di area risulti pari alla metà dell'area totale della sezione.

Gli incrementi termici medi sull'intera sezione e sulla semisezione sono infine calcolati come semplice differenza tra i valori medi di temperatura nella sezione a valle dello scarico, ottenuti mediante le due precedenti formule approssimate, e la contemporanea temperatura media indisturbata rilevata nella sezione a monte.

Metodologia di misura

L'individuazione dei punti di misura è stata effettuata secondo la procedura tecnica 700QT00229 "*Georeferenziazione assoluta di punti con strumentazione satellitare Trimble*", individuando ciascun punto di misura con apparecchiatura GPS differenziale con incertezza sul posizionamento planimetrico migliore di 20 cm.

Le misure di temperatura sono state eseguite secondo la procedura tecnica 700QT00214 "*Misura di temperatura in un punto definito di un corpo idrico superficiale*". Per l'indagine in oggetto è stata utilizzata la multisonda Idromar IM 5136, certificata SIT, con un'incertezza migliore di 0.1 °C.

Fogli raccolta dati

I fogli di raccolta dati delle due campagne di misura sono contenuti nelle Appendici 3 e 4 che seguono.

APPENDICE 3_RILIEVI TERMICI_DATI

--- ---

**Foglio Raccolta Dati
delle misure di temperatura eseguite sul fiume Po ad Ostiglia
in prossimità dello scarico delle acque di raffreddamento
dei condensatori della centrale termoelettrica Endesa
il giorno 5 aprile 2007**

PROCEDURA TECNICA 700QT00214 – frd rev.8, 16.10.00 MISURA DI TEMPERATURA IN PUNTI DEFINITI DI UN CORPO IDRICO SUPERFICIALE (Incertezza di misura $u_c = 0.1^\circ\text{C}$)	
N° commessa	75779E
N° prova	1
Luogo di esecuzione dei rilievi	Tratto di fiume Po antistante la centrale termoelettrica Endesa Italia di Ostiglia
Data di esecuzione dei rilievi	05.04.07
Stazioni e profondità di misura	riportati nel FRD contenente i risultati della prova
Eventuali dispositivi speciali di sicurezza	<input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI (vedi tabella allegata)
RP	Pastori
IP	Bozzani, Marengoni

Idoneità delle condizioni ambientali e di sicurezza

 SI NO

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	
multisonda	<input type="checkbox"/> Idronaut Ocean Seven 301 - S n° inv. 124320
	<input checked="" type="checkbox"/> Idromar IM 5136 n° inv. 123566
IMBARCAZIONE UTILIZZATA	
<input checked="" type="checkbox"/>	gommone Lomac GE 8677 l.f.t. m 4.11
<input type="checkbox"/>	gommone Zodiac GE 8725 l.f.t. m 3.83
<input type="checkbox"/>	gommone Lomac GE 8755 l.f.t. m 2.35
<input type="checkbox"/>	altro

PROCEDURA TECNICA 700QT00214 – frd rev.8, 16.10.00
MISURA DI TEMPERATURA
IN PUNTI DEFINITI DI UN CORPO IDRICO SUPERFICIALE
 (Incertezza di misura $u_c = 0.1^\circ\text{C}$)

N° commessa 75779E

N° prova 1

Luogo di esecuzione dei rilievi

Tratto di fiume Po antistante la centrale termoelettrica Endesa Italia di Ostiglia

Data di esecuzione dei rilievi

05.04.07

tabella n° 1 di 2

sezione	ore	distanza da riva DX [m]	profondità misura [m]	temperatura [°C]	note
“Fredda”	17:15	0	0	-	
		13	0.3	14.4	
		27	0.5	14.4	
			0.6	14.4	
		44	0.5	14.2	
			1.0	14.2	
			2.0	14.0	
			2.9	14.0	
		61	0.5	14.0	
			1.0	14.0	
			2.0	14.0	
			3.0	14.0	
			4.0	14.0	
			5.0	14.0	
			5.2	14.0	
		75	0.5	14.0	
			1.0	14.0	
			2.0	14.0	
			3.0	14.0	
			4.0	14.0	
			5.0	14.0	
			6.0	14.0	
			6.4	14.1	
		88	0.5	14.0	
			1.0	14.0	
			2.0	14.0	
			3.0	14.0	
			4.0	14.0	
			5.0	14.0	
			6.0	14.1	
			7.0	14.1	
			7.6	14.0	
		104	0.5	14.0	
			1.0	14.0	
			2.0	14.0	
			3.0	14.0	
			4.0	14.0	
			5.0	14.0	
			6.0	14.0	
			7.0	14.0	
			8.0	14.0	

sezione	ore	distanza da riva DX [m]	profondità misura [m]	temperatura [°C]	note
"Fredda"			8.5	14.0	
		120	0.5	14.0	
			1.0	14.0	
			2.0	14.0	
			3.0	14.0	
			4.0	14.0	
			5.0	14.0	
			6.0	14.0	
			7.0	14.0	
			8.0	14.0	
			9.0	14.0	
			9.4	14.0	
			144	0.5	14.1
			1.0	14.0	
			2.0	14.1	
			3.0	14.0	
			4.0	14.0	
			5.0	14.0	
			6.0	14.1	
			7.0	14.0	
			8.0	14.0	
			9.0	14.0	
			9.1	14.0	
		167	0.5	14.1	
			1.0	14.1	
			2.0	14.1	
			3.0	14.1	
			4.0	14.0	
			5.0	14.1	
			6.0	14.1	
			7.0	14.1	
			8.0	14.1	
			8.7	14.1	
		172	0.5	14.1	
			1.0	14.1	
			2.0	14.1	
			3.0	14.1	
			4.0	14.0	
			4.3	14.1	
		177	0	-	

PROCEDURA TECNICA 700QT00214 – frd rev.8, 16.10.00
MISURA DI TEMPERATURA
IN PUNTI DEFINITI DI UN CORPO IDRICO SUPERFICIALE
(Incertezza di misura $u_c = 0.1^\circ\text{C}$)

N° commessa 75779E

N° prova 1

Luogo di esecuzione dei rilievi

Tratto di fiume Po antistante la centrale termoelettrica Endesa Italia di Ostiglia

Data di esecuzione dei rilievi

05.04.07

tabella n° 1 di 2

sezione	ore	distanza da riva DX [m]	profondità misura [m]	temperatura [$^\circ\text{C}$]	note
"Calda"	14:50	0	0	-	
		30	0.5	18.8	
			0.9	18.8	
		42	0.5	17.9	
			0.7	17.9	
		58	0.5	17.5	
			0.9	17.5	
		88	0.5	16.2	
			1.0	16.4	
			1.4	16.4	
		114	0.5	15.6	
			1.0	15.4	
			2.0	15.4	
			2.2	15.0	
		137	0.5	15.0	
			1.0	15.0	
			2.0	15.0	
			3.0	15.0	
			3.2	15.0	
		159	0.5	14.9	
			1.0	14.6	
			2.0	14.3	
			3.0	14.0	
			4.0	14.3	
			4.7	14.3	
		188	0.5	14.2	
			1.0	14.1	
			2.0	14.1	
			3.0	14.0	
			4.0	14.1	
			4.9	14.1	
		233	0.5	14.1	
			1.0	14.1	
			2.0	14.1	
			3.0	14.0	
			4.0	14.1	
			5.0	14.1	
			6.0	14.1	
			6.3	14.1	
		254	0.5	14.1	
			1.0	14.1	

APPENDICE 4_RILIEVI TERMICI_DATI

--- ---

**Foglio Raccolta Dati
delle misure di temperatura eseguite sul fiume Po ad Ostiglia
in prossimità dello scarico delle acque di raffreddamento
dei condensatori della centrale termoelettrica Endesa
il giorno 2 agosto 2007**

PROCEDURA TECNICA 700QT00214 – frd rev.8, 16.10.00 MISURA DI TEMPERATURA IN PUNTI DEFINITI DI UN CORPO IDRICO SUPERFICIALE (Incertezza di misura $u_c = 0.1^\circ\text{C}$)	
N° commessa	75779E
N° prova	1
Luogo di esecuzione dei rilievi	Tratto di fiume Po antistante la centrale termoelettrica Endesa Italia di Ostiglia
Data di esecuzione dei rilievi	02.08.07
Stazioni e profondità di misura	riportati nel FRD contenente i risultati della prova
Eventuali dispositivi speciali di sicurezza	<input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI (vedi tabella allegata)
RP	Pastori
IP	Porcari, Marengoni

Idoneità delle condizioni ambientali e di sicurezza SI NO

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	
multisonda	<input type="checkbox"/> Idronaut Ocean Seven 301 - S n° inv. 124320
	<input checked="" type="checkbox"/> Idromar IM 5136 n° inv. 123566
IMBARCAZIONE UTILIZZATA	
<input checked="" type="checkbox"/>	gommone Lomac GE 8677 l.f.t. m 4.11
<input type="checkbox"/>	gommone Zodiac GE 8725 l.f.t. m 3.83
<input type="checkbox"/>	gommone Lomac GE 8755 l.f.t. m 2.35
<input type="checkbox"/>	altro

PROCEDURA TECNICA 700QT00214 – frd rev.8, 16.10.00
MISURA DI TEMPERATURA
IN PUNTI DEFINITI DI UN CORPO IDRICO SUPERFICIALE
(Incertezza di misura $u_c = 0.1^\circ\text{C}$)

N° commessa 75779E

N° prova 1

Luogo di esecuzione dei rilievi

Tratto di fiume Po antistante la centrale termoelettrica Endesa Italia di Ostiglia

Data di esecuzione dei rilievi

02.08.07

tabella n° 1 di 3

sezione	ore	distanza da riva DX [m]	profondità misura [m]	temperatura [°C]	Note
“Fredda”	10:20	0	0	-	
		19	0.5	31.1	
			1.0	24.9	
			2.0	24.8	
			2.2	24.8	
		28	0.5	31.1	
			1.0	24.9	
			2.0	24.8	
			3.0	24.8	
			3.3	24.8	
		38	0.5	31.1	
			1.0	24.9	
			2.0	24.8	
			3.0	24.8	
			4.0	24.8	
			4.4	24.8	
		48	0.5	29.5	
			1.0	24.9	
			2.0	24.8	
			3.0	24.8	
			4.0	24.8	
			4.9	24.8	
		58	0.5	28.0	
			1.0	24.8	
			2.0	24.8	
			3.0	24.8	
			4.0	24.8	
			5.0	24.8	
			5.4	24.8	
		68	0.5	26.4	
			1.0	24.8	
			2.0	24.8	
			3.0	24.8	
			4.0	24.8	
			5.0	24.8	
			5.9	24.8	
			6.0	24.8	
		78	0.5	24.8	
			1.0	24.8	
			2.0	24.8	
			3.0	24.8	

sezione	ore	distanza da riva DX [m]	profondità misura [m]	Temperatura [°C]	Note
			4.0	24.8	
			5.0	24.8	
			6.0	24.8	
			6.3	24.8	
		89	0.5	24.8	
			1.0	24.8	
			2.0	24.8	
			3.0	24.8	
			4.0	24.8	
			5.0	24.8	
			6.0	24.8	
			7.0	24.8	
		99	0.5	24.8	
			1.0	24.8	
			2.0	24.8	
			3.0	24.8	
			4.0	24.8	
			5.0	24.8	
			6.0	24.8	
			7.4	24.8	
		110	0.5	24.8	
			1.0	24.8	
			2.0	24.8	
			3.0	24.8	
			4.0	24.8	
			5.0	24.8	
			6.0	24.8	
			7.0	24.8	
			8.0	24.8	
		121	0.5	24.9	
			1.0	24.8	
			2.0	24.8	
			3.0	24.8	
			4.0	24.8	
			5.0	24.8	
			6.0	24.8	
			7.0	24.8	
			8.0	24.8	
			8.5	24.8	
		125	0.5	24.8	
			1.0	24.8	
			2.0	24.8	
			3.0	24.8	
			4.0	24.8	
			5.0	24.8	
			6.0	24.8	
		130	0.5	24.8	

PROCEDURA TECNICA 700QT00214 – frd rev.8, 16.10.00
MISURA DI TEMPERATURA
IN PUNTI DEFINITI DI UN CORPO IDRICO SUPERFICIALE
(Incertezza di misura $u_c = 0.1^\circ\text{C}$)

N° commessa 75779E

N° prova 1

Luogo di esecuzione dei rilievi

Tratto di fiume Po antistante la centrale termoelettrica Endesa Italia di Ostiglia

Data di esecuzione dei rilievi

02.08.07

tabella n° 1 di 2

sezione	ore	distanza da riva DX [m]	profondità misura [m]	temperatura [$^\circ\text{C}$]	note
"Calda"	14:50	0	0	-	
		2	0.5	25.7	
			1.0	25.7	
			1.7	25.7	
		4	0.5	25.7	
			1.0	25.7	
			2.0	25.7	
			2.5	25.7	
		16	0.5	25.7	
			1.0	25.7	
			2.0	25.7	
			3.0	25.7	
			4.0	25.7	
		29	0.5	25.8	
			1.0	25.7	
			2.0	25.7	
			3.0	25.7	
			4.0	25.7	
			5.0	25.7	
			5.7	25.7	
		36	0.5	25.7	
			1.0	25.7	
			2.0	25.7	
			3.0	25.7	
			4.0	25.7	
			5.0	25.7	
			5.5	25.7	
		43	0.5	25.7	
			1.0	25.7	
			2.0	25.7	
			3.0	25.7	
			4.0	25.7	
			5.0	25.7	
			5.4	25.7	
		51	0.5	26.9	
			1.0	27.0	
			2.0	25.7	
			3.0	25.7	
			4.0	25.7	
			5.0	25.7	
			5.3	25.7	

sezione	ore	distanza da riva DX [m]	profondità misura [m]	temperatura [°C]	note
"Calda"		59	0.5	28.1	
			1.0	28.2	
			2.0	25.7	
			3.0	25.7	
			4.0	25.6	
			5.0	25.7	
		69	5.2	25.7	
			0.5	27.6	
			1.0	27.5	
			2.0	25.9	
			3.0	25.8	
			4.0	25.7	
	78	4.7	25.8		
		0.5	27.2		
		1.0	26.7		
		2.0	26.0		
		3.0	25.8		
		4.0	25.8		
	89	4.3	25.8		
		0.5	27.5		
		1.0	26.9		
		2.0	26.5		
		3.0	26.3		
		3.6	25.8		
	100	0.5	27.8		
		1.0	27.0		
		2.0	26.9		
		2.8	26.7		
		115	0.5	28.0	
			1.0	27.3	
	2.0		27.1		
	129	2.4	26.7		
		0.5	28.3		
		1.0	27.6		
	142	2.0	27.3		
		0.5	28.2		
		1.0	27.4		
	156	1.7	27.3		
		0.5	28.0		
		1.0	27.2		
	168	1.4	27.3		
		0.5	28.3		
		1.0	27.8		
	179	0.5	28.5		
		1.0	28.5		

