

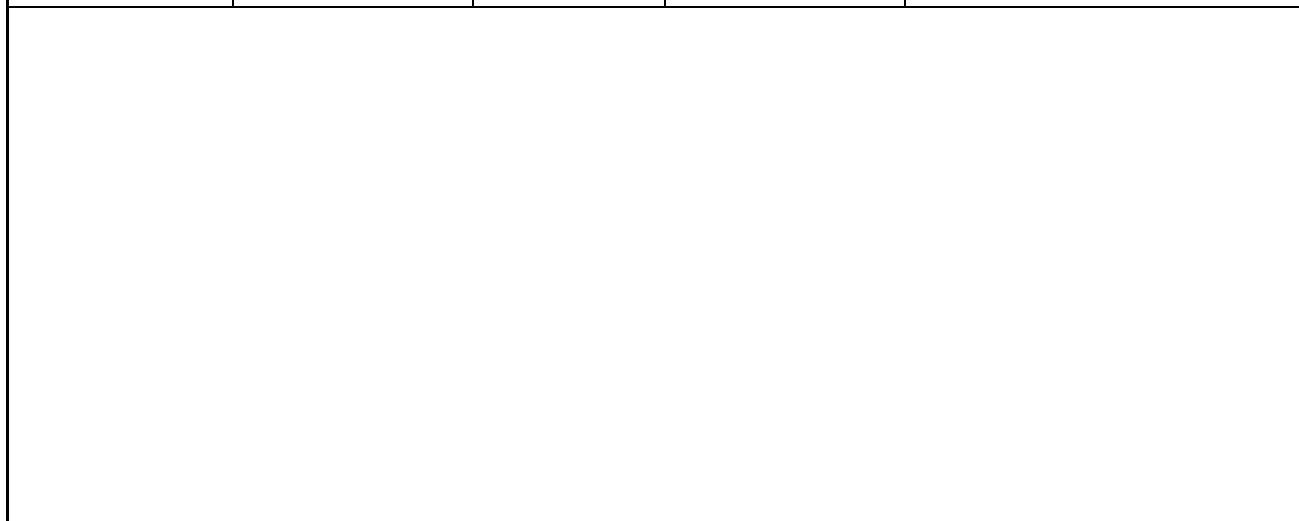


Società di Ingegneria: 	Progetto: CCGT 400 MWe nel Porto Industriale di Trieste Contratto no. : Lavoro no. :				Cliente: 			
	Rev.:	00						
Documento no.: 08110-HSE-R-0-311	Foglio: 1 di 15		Data: 21/06/2010	Classificazione: per istruttoria		Documento Cliente no.:		



**STUDIO DI FATTIBILITÀ SULL'INSTALLAZIONE
DI UN IMPIANTO DI ABBATTIMENTO NO_x DI TIPO SCR**



00	21/06/10	Emissione per istruttoria	Giarda	Giunto	Pastorelli
REV	DATA	TITOLO DELLA REVISIONE	PREPARATO	VERIFICATO	APPROVATO

CCGT 400 MWe NEL PORTO INDUSTRIALE DI TRIESTE
STUDIO DI FATTIBILITÀ SULL'INSTALLAZIONE DI UN IMPIANTO DI TIPO SCR

Documento no.:	Foglio	Rev.:				Documento Cliente no :
08110-HSE-R-0-311	2 di 15	00				

INDICE

0	PREMESSA.....	3
	0.1 Abbreviazioni e acronimi utilizzati nel testo	3
1	EMISSIONE DI NO _x DA CENTRALI CCGT: ANALISI DELLE BAT DI SETTORE.....	4
2	STUDIO TECNICO DI FATTIBILITÀ SULL'APPLICABILITÀ DEL PROCESSO SCR.....	5
	2.1 La tecnologia SCR	5
	2.2 Descrizione del processo	5
	2.3 Configurazioni SCR attualmente in commercio.....	6
	2.4 Tipologie di reagente in uso	8
	2.5 Configurazione dell'impianto SCR per un impianto CCGT di 400 MWe.....	8
	2.6 Efficienze di rimozione degli NO _x ed emissioni attese	10
	2.7 Costi	12
	2.8 Principali criticità rilevate	12
	2.9 Letteratura consultata.....	13
3	CONCLUSIONI	14

CCGT 400 MWe NEL PORTO INDUSTRIALE DI TRIESTE
STUDIO DI FATTIBILITÀ SULL'INSTALLAZIONE DI UN IMPIANTO DI TIPO SCR

Documento no.: 08110-HSE-R-0-311	Foglio 3 di 15	Rev.: 00	Documento Cliente no :
-------------------------------------	-------------------	-------------	------------------------

0 PREMESSA

La presente relazione è stata redatta allo scopo di rispondere alla richiesta di integrazione n. 11 formulata dal MATTM – Commissione Tecnica VIA e VAS con Nota Prot. CTVA-2009-0004879 del 24 dicembre 2009, che così recita:

“11. Produrre uno studio di fattibilità in merito all'installazione di un impianto di abbattimento degli NO_x di tipo SCR che comprenda un'analisi di tipo costi/benefici supportata da apposite simulazioni modellistiche.”

0.1 Abbreviazioni e acronimi utilizzati nel testo

AIG	<i>Ammonia Injection Grid</i>
BAT	<i>Best Available Techniques</i>
BREF	<i>BAT Reference Document</i>
CCGT	<i>Combined Cycle Gas Turbine</i>
DLN	<i>Dry Low NO_x</i>
HPEVA	<i>High Pressure Evaporator</i>
HRSG	<i>Heat Recovery Steam Generator,</i>
LCP	<i>Large Combustion Plant</i>
LG	<i>Linee Guida</i>
MTD	<i>Migliori Tecniche Disponibili</i>
SCR	<i>Selective Catalytic Reduction</i>
UE	<i>Unione Europea</i>

CCGT 400 MWe NEL PORTO INDUSTRIALE DI TRIESTE
STUDIO DI FATTIBILITÀ SULL'INSTALLAZIONE DI UN IMPIANTO DI TIPO SCR

Documento no.: 08110-HSE-R-0-311	Foglio 4 di 15	Rev.: 00	Documento Cliente no :
-------------------------------------	-------------------	-------------	------------------------

1 EMISSIONE DI NO_x DA CENTRALI CCGT: ANALISI DELLE BAT DI SETTORE

I due documenti di riferimento per analizzare le BAT di settore sono:

- “*Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants (July 2006)*” (**BREF LCP**) [3];
- “*Linee guida per l'individuazione e l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili in materia di impianti di combustione con potenza termica di combustione di oltre 50 MW (gennaio 2008)*” (**LG MTD impianti di combustione**) [5].

Il primo documento costituisce il fondamentale riferimento comunitario, mentre il secondo documento, adottato con D.M. (Ambiente) 1 ottobre 2008 (pubblicato in data 3 marzo 2009), ne costituisce l'adattamento nazionale.

Entrambi i documenti, sostanzialmente coerenti in materia di emissioni di NO_x da centrali a ciclo combinato alimentate a gas naturale, individuano come BAT e tecnica standard per impianti nuovi l'utilizzo di bruciatori DLN con livelli di emissione di 20-50 mg/Nm³ [15%O₂, gas secchi] (vedi § 7.5.4 e Table 7.37 del BREF LCP).

L'utilizzo di sistemi SCR (*Selective Catalytic Reduction*) è elencata tra le tecniche secondarie per la riduzione degli NO_x già formati in caldaia, utilizzabile indipendentemente o in associazione con le tecniche primarie quali combustori *Dry-Low-NOx* (DLN), e tuttavia considerata non necessaria, salvo situazioni eccezionali, come tecnica addizionale a valle di sistemi DLN.

CCGT 400 MWe NEL PORTO INDUSTRIALE DI TRIESTE										
STUDIO DI FATTIBILITÀ SULL'INSTALLAZIONE DI UN IMPIANTO DI TIPO SCR										
Documento no.:	Foglio			Rev.:						Documento Cliente no.:
08110-HSE-R-0-311	5	di	15	00						

2 STUDIO TECNICO DI FATTIBILITÀ SULL'APPLICABILITÀ DEL PROCESSO SCR

2.1 La tecnologia SCR

La riduzione catalitica selettiva (SCR) è un processo largamente applicato per ridurre le emissioni per l'abbattimento degli NO_x nei fumi prodotti dai grandi impianti di combustione in Europa e in altri paesi in tutto il mondo, inclusi Giappone e Stati Uniti.

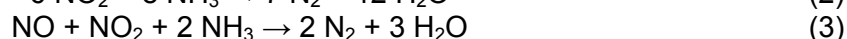
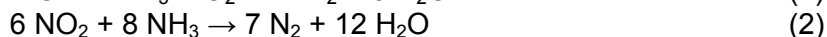
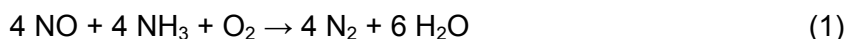
La tecnologia è stata originariamente sviluppata in Giappone a partire dagli anni Settanta, in particolare per caldaie industriali finalizzate alla produzione di energia elettrica. Dalla metà degli anni Ottanta è stata introdotta in Europa, a partire da Austria e Germania e successivamente è stata applicata in numerosi paesi dell'UE tanto che ora copre circa il 90-95% dei trattamenti per la riduzione delle emissioni di NO_x dalle centrali termoelettriche, per una capacità totale di circa 100.000 MWe.

Nel caso specifico degli impianti a ciclo combinato con turbina a gas (CCGT) tuttavia, ad oggi, la maggior parte di essi, per ridurre le emissioni degli ossidi di azoto, utilizzano solo misure primarie, ossia integrate col processo. Solo pochi impianti CCGT con turbine a gas operanti in Europa, Giappone e Stati Uniti, impiegano anche i sistemi SCR. Infatti, per i nuovi impianti i bruciatori *Dry-Low-NOx* si possono considerare sufficienti per raggiungere emissioni di NO_x relativamente basse dell'ordine di 30 mg/Nm³ (media oraria, rif. 15% O₂ *dry*) per turbine della potenza di circa 250 MW, a fronte di un valore pari a 50 mg/Nm³ di qualche anno fa. Di conseguenza, appare ovvio che la soluzione SCR viene considerata in associazione ai bruciatori DLN solo nei casi in cui siano rilevate particolari criticità ambientali locali che richiedano ulteriori riduzioni delle emissioni di NO_x.

2.2 Descrizione del processo

Il processo SCR si basa sulla riduzione selettiva degli ossidi di azoto (NO_x) mediante l'iniezione di ammoniaca o urea a monte di un catalizzatore.

La riduzione degli NO_x avviene attraverso la reazione con ammoniaca a dare composti innocui quali azoto ed acqua, attraverso le seguenti reazioni principali:



La reazione (1), che decorre velocemente in presenza di un opportuno catalizzatore in un intervallo di temperature compreso tra i 250 °C e i 450 °C, rende conto della stechiometria complessiva del processo in quanto gli ossidi di azoto sono costituiti per più del 90% da NO. In effetti, l'NO₂ è presente nei fumi di scarico della combustione in basse percentuali (intorno al 5%), per cui le reazioni (2) e (3) rivestono un ruolo secondario nel processo SCR.

Il termine "selettiva" si riferisce alla capacità specifica dell'ammoniaca di reagire con NO invece di essere direttamente ossidata dall'ossigeno dell'aria così come avviene con altri riducenti quali idrocarburi, H₂ o CO.

Le variabili che influenzano più criticamente il grado di rimozione degli NO_x sono la temperatura di reazione, la portata dei gas da trattare, la velocità d'ingresso dei gas e il rapporto molare tra l'ammoniaca e gli NO_x iniziali.

CCGT 400 MWe NEL PORTO INDUSTRIALE DI TRIESTE
STUDIO DI FATTIBILITÀ SULL'INSTALLAZIONE DI UN IMPIANTO DI TIPO SCR

Documento no.:
08110-HSE-R-0-311

Foglio
6 di 15

Rev.:
00

Documento Cliente no :

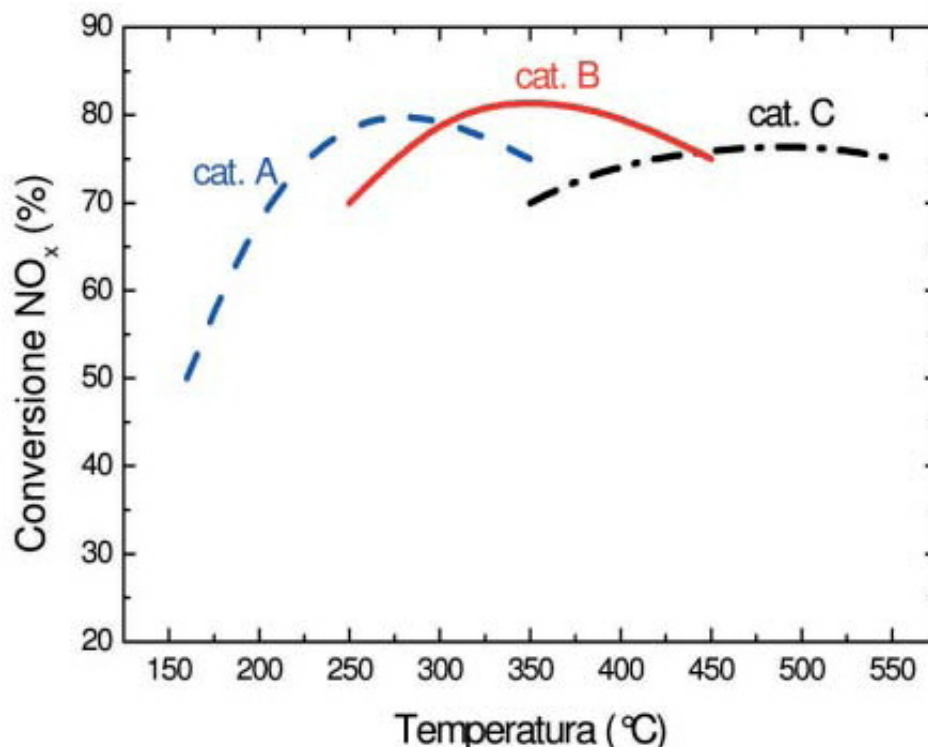


Fig. 2.1 – Efficienza di rimozione degli NO_x in funzione della temperatura e del tipo di catalizzatore [4].

Per quanto riguarda il parametro della temperatura in particolare, temperature basse di lavoro implicano ridotte conversioni degli NO_x, in quanto la reattività del catalizzatore risulta limitata; parallelamente, se la temperatura è troppo alta, si ha l'insorgere della reazione di ossidazione di NH₃ che determina una diminuzione della conversione degli NO_x. L'efficienza di rimozione presenta quindi un caratteristico *plateau* in funzione della temperatura, la cui posizione dipende dal tipo di catalizzatore (vedi **Fig. 2.1**).

Il campo di temperatura nel quale il catalizzatore garantisce elevata efficienza di rimozione degli NO_x (con completa selettività ad N₂) viene definito "finestra di lavoro" e rappresenta l'intervallo di temperatura nel quale il catalizzatore può operare. Sono oggi offerti sistemi catalitici operanti a bassa (cat. A), media (cat. B) ed alta temperatura (cat. C) che coprono complessivamente il campo di temperature compreso tra 200 e 600 °C.

Per quanto concerne il rapporto molare tra l'ammoniaca e gli NO_x da abbattere maggiore è il valore, migliore è l'efficienza di abbattimento; tuttavia, rapporti di NH₃/NO_x superiori al rapporto stechiometrico comportano l'insorgere del problema dell'*ammonia slip* (vedi § 2.6), per cui si tende a mantenere tale rapporto compreso tra 0,8 e 1,0.

2.3 Configurazioni SCR attualmente in commercio

Le possibili configurazioni del reattore SCR possono essere le seguenti:

1. reattore integrato nel recuperatore (HRSG) (SCR convenzionale);
2. reattore installato dopo lo scarico della turbina (*high-temperature* SCR);
3. reattore installato dopo il recuperatore (*low-temperature* SCR)

CCGT 400 MWe NEL PORTO INDUSTRIALE DI TRIESTE
STUDIO DI FATTIBILITÀ SULL'INSTALLAZIONE DI UN IMPIANTO DI TIPO SCR

Documento no.: 08110-HSE-R-0-311	Foglio 7 di 15	Rev.: 00	Documento Cliente no.:
-------------------------------------	-------------------	-------------	------------------------

Nel caso di applicazioni di SCR convenzionali il reattore è integrato nel recuperatore (vedi **Fig. 2.2**) in una posizione dove la temperatura dei gas di scarico si situa all'interno della "finestra di lavoro" compresa tra i 300 e i 400 °C. A seconda del livello di attività del catalizzatore impiegato, gli strati catalitici sono collocati a valle del surriscaldatore o in corrispondenza dell'evaporatore. I catalizzatori comunemente utilizzati, che possono operare in un campo di temperature generalmente compreso tra 260 e 400 °C, sono costituiti da un supporto ad alta area superficiale (TiO₂ anatasio) sul quale vengono dispersi gli elementi attivi ossido di vanadio e tungsteno (o molibdeno).

La configurazione SCR ad alta temperatura, nella quale il reattore è localizzato direttamente sullo scarico della turbina, è utilizzata prevalentemente per turbine prive di HRSG (impianti di generazione a ciclo semplice). Per questi tipi di impianti vengono comunemente impiegati sistemi catalitici di tipo zeolitico, contenenti ioni di metalli di transizione (ad esempio Fe) e caratterizzati da elevati rapporti Si/Al, che sono attivi ad alta temperatura, fino a circa 600 °C.

Nel caso dei sistemi SCR a bassa temperatura, solo recentemente sviluppati, il reattore di denitrificazione è collocato a valle del HRSG e ciò evita di apportare modifiche al recuperatore per l'inserimento degli strati catalitici. Tale configurazione è quindi considerata nei casi di retrofit di impianti preesistenti. Tali sistemi utilizzano catalizzatori in grado di operare a temperature superiori a 200 °C. In questi casi vengono offerti catalizzatori ad alto tenore di V₂O₅ o contenenti metalli nobili che presentano attività SCR superiore rispetto ai sistemi convenzionali. Tali sistemi catalitici presentano anche elevata attività nella reazione di ossidazione di SO₂ a SO₃ e sono pertanto utilizzabili con combustibili di qualità a basso tenore di zolfo.

Un altro aspetto che contraddistingue il catalizzatore utilizzato è la sua forma che può essere di monolite a nido d'ape o monolite a piastre, entrambi caratteristici per la loro particolare geometria che garantisce elevate superfici di esposizione in corrispondenza di basse perdite di carico, aspetto importante per assicurare la massima efficienza di energia globale.

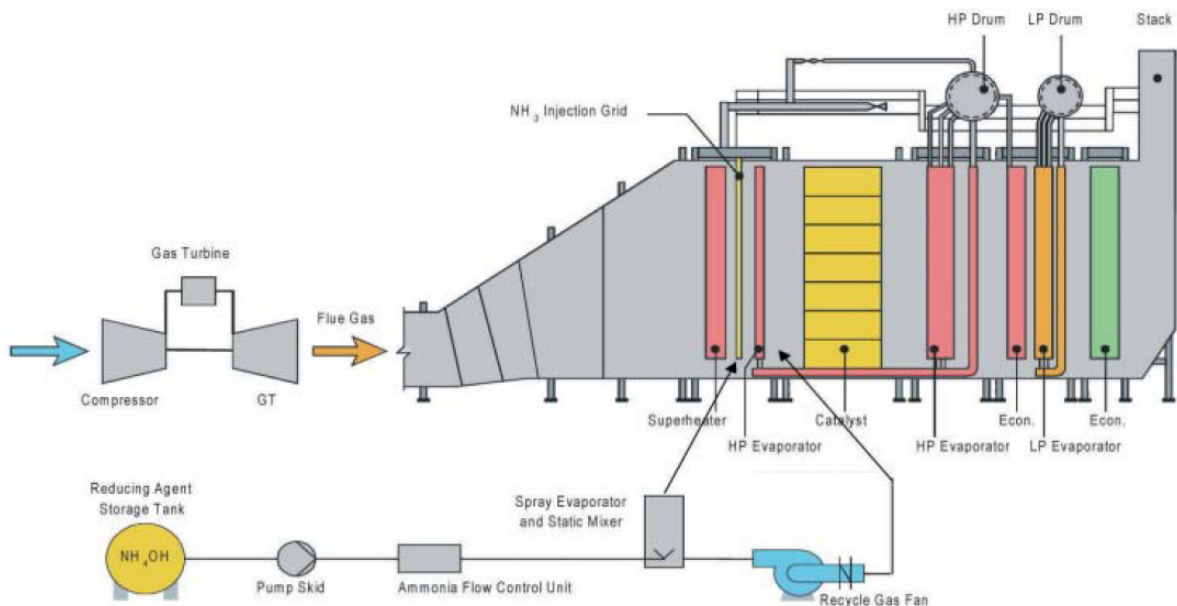


Fig. 2.2 – Tipica configurazione di un SCR convenzionale [4].

CCGT 400 MWe NEL PORTO INDUSTRIALE DI TRIESTE										
STUDIO DI FATTIBILITÀ SULL'INSTALLAZIONE DI UN IMPIANTO DI TIPO SCR										
Documento no.:	Foglio		Rev.:							Documento Cliente no :
08110-HSE-R-0-311	8	di	15	00						

I catalizzatori monolitici a nido d'ape hanno dimensioni dei canali intorno ai 3 mm nel caso di applicazioni per gas naturale. I catalizzatori a piastre dispongono di una luce netta di passaggio superiore rispetto ai monoliti a nido d'ape e presentano una minor superficie geometrica esposta per unità di volume e conseguenti minori perdite di carico specifiche.

La scelta della densità di celle dei monoliti con cui operare dipende dal trovare un compromesso tra l'efficienza di abbattimento degli NO_x, che aumenta all'aumentare della superficie esposta e quindi, a parità di volumi, della densità delle celle, e le perdite di carico prodotte che sono anch'esse direttamente proporzionali alla densità delle celle e comportano, oltre a consumi energetici maggiori, anche un netto calo di rendimento nel caso specifico delle turbine a gas.

2.4 Tipologie di reagente in uso

L'ammoniaca utilizzata come fondamentale reagente riducente nel processo SCR si trova in commercio sotto forma di:

- ammoniaca anidra (ammoniaca liquefatta);
- ammoniaca in soluzione acquosa;
- soluzione acquosa di urea.

A livello mondiale il numero di impianti che utilizzano ammoniaca anidra è superiore al numero di quelli che utilizzano altri agenti riducenti poiché il costo dell'ammoniaca anidra è più basso e consente di ridurre i costi di esercizio. Tuttavia la sua manipolazione è più problematica rispetto alla soluzione acquosa di ammoniaca, che è relativamente inerte ed è utilizzata da solo il 5% delle unità, soprattutto quelle con particolari problemi di sicurezza (ad es. prossimità di centri abitati).

Quando è utilizzata l'ammoniaca, questa è stoccata in soluzione acquosa o allo stato liquefatto a una pressione di circa 17 bar a 20 °C.

L'ammoniaca liquefatta per poter essere utilizzata deve essere evaporata per ottenere ammoniaca gassosa; questo si ottiene riscaldandola in un evaporatore tramite vapore, acqua calda o energia elettrica. L'ammoniaca è poi miscelata con aria calda e iniettata nei fumi tramite un sistema di ugelli per ottenere una miscelazione omogenea dell'ammoniaca con i fumi stessi.

L'urea per essere utilizzata viene prima disciolta in acqua e poi trasformata in ammoniaca gassosa mediante un processo di idrolisi o termolisi per poi essere utilizzata come sopra descritto.

2.5 Configurazione dell'impianto SCR per un impianto CCGT di 400 MWe

Nel caso specifico dell'impianto in oggetto è stata valutata la fattibilità di un inserimento di un sistema SCR di tipo convenzionale ossia integrato nel recuperatore HRSG.

Lo spazio predisposto per la sua collocazione sarà a valle dell'evaporatore ad alta pressione (HPEVA) dove le temperature consentono una corretta attività del catalizzatore con la possibilità di raggiungere le prestazioni richieste controllando nel contempo lo *slip* di ammoniaca.

In particolare, considerando di utilizzare un catalizzatore formato da moduli di monolite a nido d'ape, la finestra di lavoro, ossia il campo di temperatura entro cui si dovrà lavorare per garantire il corretto funzionamento del catalizzatore sarà tra i 300 °C e i 390 °C. Temperature superiori potrebbero causare la sinterizzazione dei pori del catalizzatore mentre temperature inferiori potrebbero comportare la condensazione del bisolfato di ammonio che andrebbe ad ostruire i pori del catalizzatore. Per un HRSG convenzionale, con pressione di esercizio dell'evaporatore di 130 bar e temperatura di saturazione pari a 330 °C, la temperatura dei fumi sarà di circa 340 °C.

CCGT 400 MWe NEL PORTO INDUSTRIALE DI TRIESTE
STUDIO DI FATTIBILITÀ SULL'INSTALLAZIONE DI UN IMPIANTO DI TIPO SCR

Documento no.:	Foglio	Rev.:	Documento Cliente no.:
08110-HSE-R-0-311	9 di 15	00	

Il catalizzatore utilizzato sarà del tipo a nido d'ape, alloggiato all'interno della caldaia, e formato da elementi modulari pre-assemblati composti in modo da occupare tutta la sezione di passaggio dei fumi e del tipo autoportante imbullonati tra loro.

Il materiale del catalizzatore sarà, come comunemente adottato per questa tipologia di catalizzatori, un supporto di TiO_2 con componenti attivi come ossidi di vanadio (V_2O_5) con piccole quantità di ossidi di tungsteno (WO_3).

Il volume che andrà ad occupare l'intero sistema SCR (comprensivo di griglia e catalizzatore) e che quindi comporterà l'ampliamento del HRSG rispetto alla configurazione senza SCR, per un impianto CCGT da 400 MWe, sarà di circa $21\text{ m} \times 11\text{ m} \times 6-8\text{ m}$ (H \times W \times L).

In particolare, la variabilità dello spessore del catalizzatore dipenderà dall'efficienza di abbattimento degli NO_x che si intenderà raggiungere e dalla perdita di carico accettata.

Nel caso specifico dell'impianto in oggetto con una portata dei fumi nelle condizioni di esercizio di circa 680 kg/s e una temperatura sulla superficie del catalizzatore di circa 340°C , con un contenuto di NO_x in ingresso al sistema SCR di $30\text{ mg/Nm}^3 @ 15\% O_2$ se si volesse raggiungere un'efficienza di abbattimento degli NO_x del 67% con una perdita di carico massima di 5 mbar, potrebbe essere impiegato un catalizzatore con le seguenti caratteristiche:

- numero di moduli utilizzati (larghezza): 10
- numero di moduli utilizzati (altezza): 10
- altezza del singolo modulo: 1125 mm
- larghezza del singolo modulo: 2109 mm
- lunghezza del singolo modulo (nella dir. del flusso): 413 mm
- peso del catalizzatore: 70 t

Il tipo di reagente che verrà utilizzato sarà o ammoniaca in soluzione acquosa o urea dal momento che rappresentano entrambi una soluzione, se pur maggiormente costosa, certamente più sicura dell'utilizzo di ammoniaca anidra e pertanto auspicabile nel contesto in oggetto.

Nel primo caso si utilizzerà una soluzione acquosa con un contenuto di NH_3 al 19% o al 25% in peso, che dovrà essere stoccata e vaporizzata per essere iniettata a monte del catalizzatore.

L'utilizzo di tale reagente comporterà in particolare l'installazione delle seguenti unità aggiuntive:

- una sezione di stoccaggio composta da un serbatoio in pressione in acciaio inox con adeguato bacino di contenimento e una stazione di carico prevista a corredo del serbatoio;
- uno *skid* di circolazione continuo di reagente composto da un sistema di pompe centrifughe, flussometro, tubazioni, valvole e strumentazioni varie;
- una sezione di evaporazione della soluzione ammoniacale che verrà prelevata da un anello di ricircolo mantenuto in pressione e vaporizzata mediante ugello bifase in una torre evaporativa;
- una sezione di iniezione in cui l'ammoniaca gassosa diluita nei gas caldi viene inserita in caldaia mediante apposita griglia interna (AIG) in acciaio inox dotata di manifold, moduli di iniezione e tubi di iniezione dotati di ugelli alimentati dai singoli moduli.

Nel caso di utilizzo di urea questa sarà utilizzata in soluzione acquosa al 40%. Per produrre l'ammoniaca necessaria al processo si potrà utilizzare un impianto di idrolisi o un impianto di termolisi.

Nel caso di utilizzo di un processo di idrolisi dell'urea sarà necessaria l'installazione delle seguenti unità aggiuntive:

CCGT 400 MWe NEL PORTO INDUSTRIALE DI TRIESTE										
STUDIO DI FATTIBILITÀ SULL'INSTALLAZIONE DI UN IMPIANTO DI TIPO SCR										
Documento no.:	Foglio			Rev.:						Documento Cliente no.:
08110-HSE-R-0-311	10	di	15	00						

- una sezione di stoccaggio dell'urea in soluzione acquosa composta da un serbatoio atmosferico in vetroresina riscaldato da una resistenza elettrica per evitare la cristallizzazione del reagente;
- una sezione di circolazione e pompaggio per l'alimentazione della soluzione di urea;
- un serbatoio idrolizzatore in acciaio inox in cui avviene la decomposizione dell'urea;
- una sezione di iniezione in cui l'ammoniaca gassosa diluita nei gas caldi viene inserita in caldaia mediante apposita griglia interna (AIG) in acciaio inox dotata di *manifold*, moduli di iniezione e tubi di iniezione dotati di ugelli alimentati dai singoli moduli.

Nel caso di utilizzo di un processo di termolisi dell'urea sarà necessaria l'installazione delle seguenti unità aggiuntive:

- una sezione di stoccaggio dell'urea in soluzione acquosa composta da un serbatoio atmosferico in vetroresina riscaldato da una resistenza elettrica per evitare la cristallizzazione del reagente;
- una sezione di circolazione e pompaggio per l'alimentazione della soluzione di urea;
- una sezione di dosaggio e distribuzione con la funzione di dosare e regolare il flusso del reagente verso la lancia di iniezione posta nel reattore di decomposizione dell'urea;
- un reattore di decomposizione utilizzato per convertire la soluzione di urea in vapori di NH₃ gassosa (NH₃+acido isocianico) in uno *stream* di aria calda da iniettare nella griglia di iniezione del reattore catalitico;
- una sezione di iniezione costituita da apposita griglia interna (AIG) in acciaio al carbonio.

In tutti i casi descritti il dosaggio dell'ammoniaca gassosa necessaria al processo verrà regolato in automatico mediante PLC in funzione del carico di NO_x in uscita dalla turbina a gas e del valore di set-point del NO_x impostato come valore di uscita desiderato.

2.6 Efficienze di rimozione degli NO_x ed emissioni attese

Nelle tipiche condizioni operative l'efficienza di rimozione degli NO_x si attesta intorno al 75-85%, ma è possibile raggiungere anche valori di efficienza superiori al 90%. Tale efficienza è influenzata fortemente dal rapporto NH₃/NO_x in alimentazione e dal volume del catalizzatore utilizzato: di norma viene utilizzato un valore prossimo a quello stechiometrico e pari a 1,0, ma valori di rapporto NH₃/NO_x maggiori di uno consentono di ottenere migliori efficienze di rimozione degli NO_x. Ciò però avviene a scapito di emissioni indesiderate (fughe) di ammoniaca non reagita nei fumi ("*ammonia slip*").

In letteratura [3] si trovano esempi di prestazioni raggiunte da impianti che hanno utilizzato sistemi SCR in combinazione ai bruciatori DLN (soluzioni adottate soprattutto in California, cioè laddove si sono verificate le prime installazioni di SCR in impianti CCGT alimentati a gas naturale). Le prestazioni che sono state raggiunte da tali applicazioni risultano essere le seguenti:

- emissioni di NO_x: mediamente tra i 5 e 42 mg/Nm³ (media oraria, riferiti a fumi secchi al 15% di O₂) a fronte di un rapporto NH₃/NO_x di 0,9 -1,6;
- efficienza di abbattimento NO_x: 60-85%
- *ammonia slip*: mediamente tra i 2,0 e 2,5 mg/Nm³ (media oraria, riferiti a fumi secchi al 15% di O₂).

Nel caso specifico dell'impianto in oggetto, dove la soluzione adottata con bruciatori DLN consente di ottenere valori di emissioni degli NO_x di 30 mg/Nm³ @ 15%O₂, efficienze di abbattimento del 90%, se pur teoricamente raggiungibili, rappresentano situazioni molto rischiose in fase di misurazione e test delle prestazioni soprattutto se effettuate con sistemi in continuo e richiederebbero rilevanti volumi dei catalizzatori con conseguente aumento

CCGT 400 MWe NEL PORTO INDUSTRIALE DI TRIESTE
STUDIO DI FATTIBILITÀ SULL'INSTALLAZIONE DI UN IMPIANTO DI TIPO SCR

Documento no.: 08110-HSE-R-0-311	Foglio 11 di 15	Rev.: 00	Documento Cliente no.:
-------------------------------------	--------------------	-------------	------------------------

delle perdite di carico nel catalizzatore e perdite di rendimento complessive del sistema CCGT.

Inoltre per raggiungere efficienze così spinte si dovrebbe utilizzare un rapporto NH_3/NO_x superiore al rapporto stechiometrico con conseguenti *slip* di ammoniaca considerevoli.

In generale sono sconsigliati valori di *set-point* di NO_x in uscita dal camino inferiori a 5 mg/Nm^3 .

Con una configurazione del sistema SCR come quella descritta nel § 2.5 si otterrebbero valori emissione degli NO_x di 10 $mg/Nm^3 @ 15\%O_2$, ossia un'efficienza di abbattimento del 67% e uno *slip* di ammoniaca di 1,5 $mg/Nm^3 @ 15\%O_2$.

Le considerazioni sopra riportate valgono tuttavia in condizioni di funzionamento a regime dell'impianto ossia con la turbina a gas al 100% di carico.

Durante i transitori e in particolare durante le operazioni di avvio, tali efficienze possono non essere più garantite poiché il coefficiente di riduzione del sistema SCR adottato e in particolare l'efficienza del catalizzatore dipende fortemente dalla T del gas che lo attraversa e pertanto in fase di avviamento dove le temperature dei gas nella zona a valle dell'HPEVA sono inferiori ai 300 °C, si possono avere efficienze ridotte. Nel grafico riportato in Fig. 2.3 si dimostra come l'efficienza di abbattimento dell' NO_x sia funzione della temperatura e si può osservare come catalizzatori che garantiscono nella "finestra di lavoro" (T = 350÷400 °C) efficienze di abbattimento dell' NO_x del 90% (linea verde), in fase di avviamento con temperature dei fumi intorno ai 300 °C, riducono la propria efficienza all'80%.

Tale evidenza porta a considerare che, se si volesse garantire costantemente un valore di NO_x in uscita dal camino pari a 10 $mg/Nm^3 @ 15\%O_2$, i volumi del catalizzatore dovrebbero essere ancora maggiori rispetto a quelli sopra considerati con conseguenti costi di investimento notevolmente superiori.

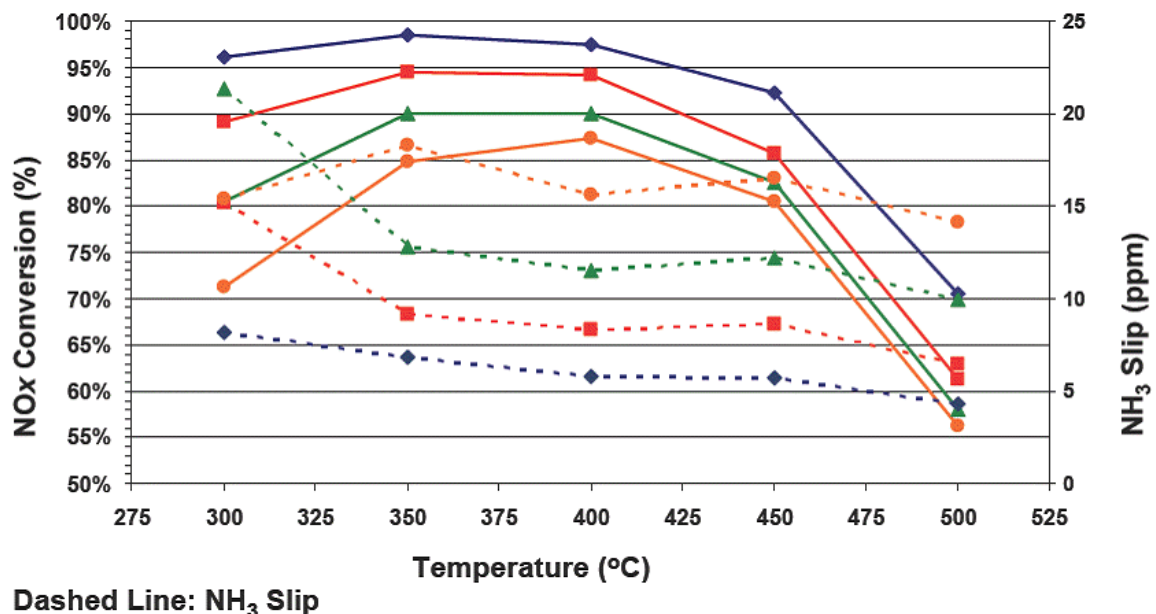


Fig. 2.3 – Andamento dell'efficienza di abbattimento degli NO_x e dello *slip* di ammoniaca al variare della temperatura dei fumi

CCGT 400 MWe NEL PORTO INDUSTRIALE DI TRIESTE										
STUDIO DI FATTIBILITÀ SULL'INSTALLAZIONE DI UN IMPIANTO DI TIPO SCR										
Documento no.:	Foglio			Rev.:						Documento Cliente no :
08110-HSE-R-0-311	12	di	15	00						

Tale ipotesi è ovviamente teorica visto che è possibile dimostrare che le emissioni di NO_x in regime transitorio per un impianto che adotta anche cicli giornalieri di funzionamento sono comunque circa del 10% delle emissioni complessive (vedi **Allegato 10** della documentazione integrativa predisposta), per cui il beneficio ottenibile non giustificerebbe i maggiori costi.

2.7 Costi

Per quanto riguarda i costi di installazione e di ammortamento, quelli di un'unità SCR sono notevoli e variano in funzione del tipo di impianto e del tipo di caldaia installata.

I costi di investimento dipendono sostanzialmente dal volume di catalizzatore (che è determinato dal volume di gas da trattare, dai rilasci di ammoniaca e dal rendimento che si vuole ottenere) e dal tipo di reagente che si vuole utilizzare.

Nel caso specifico di un impianto CCGT come quello descritto nel § 2.5, i costi di investimento sono indicativamente:

- 6,75 €/kW considerando un sistema SCR che utilizzi ammoniaca in soluzione acquosa;
- 8,20 €/kW considerando un sistema SCR con idrolisi dell'urea (di poco inferiore nel caso di termolisi dell'urea).

Per un impianto da 400 MWe il costo complessivo di investimento sarà pertanto approssimativamente di € 3.000.000, senza considerare oneri aggiuntivi legati alla sua progettazione, al montaggio, al collaudo e all'installazione di ulteriori componenti aggiuntivi quali sistemi di monitoraggio e controllo che possono portare i costi anche a € 4.000.000.

Riguardo ai costi di esercizio, i fattori che influiscono maggiormente sulla gestione di un sistema SCR sono:

- la durata del catalizzatore, a sua volta influenzata dalle caratteristiche del flusso di gas da trattare e dalla configurazione del sistema, mediamente garantita nel caso di turbine a gas tra le 24.000 e le 32.000 h di lavoro (ma si riportano anche durate doppie);
- la richiesta di agenti riducenti (i cui costi sono inferiori per l'ammoniaca anidra rispetto all'urea in soluzione acquosa al 40%);
- il consumo di energia, dovuto alle maggiori perdite di carico indotte dal catalizzatore e all'azionamento dei macchinari ausiliari, stimabile pari allo 0,5% della produzione elettrica lorda [3].

Si stimano costi di esercizio (comprensivi di sostituzione catalizzatore, reagenti chimici, manutenzione, energia elettrica) nell'intervallo 700-1.000 €/t di NO_x rimosso [3].

Quindi per un impianto dimensionato per abbattere 185 tNO_x/anno (il 67% di 277 tNO_x/anno), come quello ipotizzabile nel caso di interesse, i costi di esercizio complessivi ammonterebbero a 130.000-185.000 €/anno.

2.8 Principali criticità rilevate

L'impiego degli SCR, sebbene finalizzato alla riduzione delle emissioni di un inquinante atmosferico, non è immune da problemi ambientali.

Infatti, a fronte di una significativa riduzione degli NO_x, si manifesta una serie di criticità ambientali, connesse soprattutto all'impiego di ammoniaca, che debbono essere tenute nel debito conto qualora si intenda valutare il beneficio complessivo derivato dall'utilizzazione della tecnica.

CCGT 400 MWe NEL PORTO INDUSTRIALE DI TRIESTE										
STUDIO DI FATTIBILITÀ SULL'INSTALLAZIONE DI UN IMPIANTO DI TIPO SCR										
Documento no.:	Foglio			Rev.:						Documento Cliente no.:
08110-HSE-R-0-311	13	di	15	00						

I sistemi SCR determinano infatti sia la produzione di emissioni, quali NH₃, CO₂ derivante dal processo di trasformazione dell'urea in ammoniaca e protossido di azoto N₂O, che la formazione di particolato secondario, derivante dai rilasci di ammoniaca in atmosfera. Ciò significa che un impianto SCR contribuisce alle emissioni di sostanze responsabili della formazione di particolato e dell'acidità atmosferica (ammoniaca), nonché di sostanze responsabili dell'effetto serra (protossido di azoto).

Oltre a tali impatti, si devono poi considerare le problematiche derivanti dalla tossicità dell'ammoniaca e delle sostanze costituenti il catalizzatore. In particolare il vanadio, che come il titanio è un metallo pesante, è presente nel materiale catalitico in forma di pentossido di vanadio (V₂O₅), sostanza tossica, con conseguenti problemi connessi allo smaltimento del catalizzatore esausto.

Inoltre, l'impiego dei sistemi SCR comporta perdite di rendimento dei cicli combinati, in termini di energia elettrica netta prodotta, per le seguenti cause:

- perdite di carico dei fumi di scarico attraverso il catalizzatore;
- consumo di vapore per il riscaldamento del reattore di idrolisi (per la formazione di ammoniaca dall'urea) e dell'aria da miscelarsi con l'ammoniaca;
- consumo di energia elettrica per il funzionamento degli ausiliari connessi al sistema SCR.

Tale perdita di efficienza, dell'ordine anche dello 0,5% implica, a parità di potenza elettrica resa, un maggiore consumo di gas combustibile e quindi maggiori quantità di gas di scarico con conseguente ulteriore emissioni di inquinanti. L'adozione dei sistemi SCR determina quindi una elevata efficienza di abbattimento degli NO_x che viene però controbilanciata dalle perdite di rendimento conseguenti.

2.9 Letteratura consultata

La presente relazione è stata redatta a valle di una scrupolosa indagine e analisi della letteratura disponibile che ha portato a valutare più di venti documenti di carattere tecnico, scientifico e pianificatorio. Tra questi si è ritenuto di selezionare i 6 documenti più significativi di seguito elencati.

- [1] **CESI (2001)**. *Purificazione per via catalitica dei gas di combustione di turbine a gas*. Rapporto CESI A1/040029, 31 dicembre 2001
- [2] **CNR- Istituto sull'Inquinamento Atmosferico Centrali a ciclo combinato impiego della tecnica SCR per riduzione delle emissioni di NO_x**
- [3] **EU Commission (2006)**. *Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants*. JRC EIPPCB, July 2006
- [4] **P. Forzatti, L. Castoldi, I. Nova (2006)** *Turbine a gas - Tecnologie catalitiche per la rimozione degli NO_x*. La Termotecnica, Dicembre 2006
- [5] **MATTM (2008)**. *Linee guida per l'individuazione e l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili in materia di impianti di combustione con potenza termica di combustione di oltre 50 MW*. Gennaio 2008
- [6] **U.S. EPA (2003)**. *Air Pollution Control Technology Fact Sheet – SCR*. EPA-452/F-03-032

CCGT 400 MWe NEL PORTO INDUSTRIALE DI TRIESTE										
STUDIO DI FATTIBILITÀ SULL'INSTALLAZIONE DI UN IMPIANTO DI TIPO SCR										
Documento no.:	Foglio			Rev.:						Documento Cliente no.:
08110-HSE-R-0-311	14	di	15	00						

3 CONCLUSIONI

Gli impianti CCGT che utilizzano sistemi SCR in concomitanza con bruciatori DLN, ossia con misure primarie di contenimento degli NO_x, sono ancora pochi nel mondo, soprattutto in impianti di grande taglia e con tecnologie aggiornate.

Tale fatto è dovuto all'onere impiantistico ed economico legato all'inserimento di un sistema SCR rispetto ai vantaggi che esso può portare nella riduzione degli NO_x emessi nel caso in cui siano presenti efficaci misure di contenimento primarie.

Nel caso in oggetto di un impianto CCGT da 400 MWe con bruciatori DLN per cui venga garantita un'emissione di NO_x <30 mg/Nm³ @ 15%O₂, gas secchi si è studiata l'ipotesi di inserimento di un sistema SCR di tipo convenzionale posto subito a valle dell'HPEVA che garantisca efficienze di abbattimento del 67% ossia valori di emissione di NO_x <10 mg/Nm³ @ 15%O₂, con slip di ammoniaca di 1,5 mg/Nm³ @ 15%O₂.

Il catalizzatore da adottare in tal caso sarebbe del tipo a nido d'ape formato da elementi modulari pre-assemblati composti in modo da occupare tutta la sezione di passaggio dei fumi ossia 21 m × 11 m con uno spessore del catalizzatore di 413 mm. Il volume che dovrebbe essere predisposto all'interno dell'HRSG è di 21 m × 11 m × 6-8 m (H × W × L).

Il reagente che verrebbe utilizzato sarebbe o ammoniaca in soluzione acquosa o urea che hanno il vantaggio rispetto all'ammoniaca anidra (liquefatta) di non presentare problemi legati ad aspetti autorizzativi o al trasporto e alla sicurezza connessi alla movimentazione.

Il costo complessivo di investimento per l'inserimento di un sistema SCR così descritto sarebbe approssimativamente di € 4.000.000. I costi di esercizio, legati soprattutto ai consumi del reagente riducente, potrebbero ammontare a 130.000-185.000 €/anno.

Tra le principali criticità rilevate nell'impiego di un sistema SCR sono invece da tenere in considerazione i seguenti fattori:

- contribuisce alle emissioni di sostanze responsabili della formazione di particolato e dell'acidità atmosferica (ammoniaca), nonché di sostanze responsabili dell'effetto serra (protossido di azoto);
- comporta perdite di rendimento dei cicli combinati, in termini di energia elettrica netta prodotta pari anche allo 0,5%;
- il materiale catalitico in forma di pentossido di vanadio (V₂O₅), sostanza tossica, comporta problemi connessi allo smaltimento del catalizzatore esausto.

Concludendo, per una corretta valutazione dell'impiego di un sistema SCR, oltre alla valutazione dei costi che la tecnica comporta, è necessario bilanciare, anche gli effetti positivi di riduzione degli NO_x con gli aspetti negativi dovuti all'emissione di ammoniaca, e alla conseguente formazione di particolato secondario, e alla possibile formazione di protossido di azoto N₂O che potrebbero comportare un peggioramento delle condizioni ambientali generali.

Naturalmente una valutazione obiettiva non può prescindere dalle eventuali criticità ambientali proprie della realtà interessata dal progetto.

Proprio per questo motivo è stata condotta una valutazione modellistica per valutare l'efficacia della potenziale applicazione di un impianto SCR come quello ipotizzato (67% di abbattimento) alla realtà progettuale in esame.

I presupposti metodologici e i risultati dell'applicazione modellistica sono ampiamente documentati nell'**Allegato 7** della documentazione integrativa predisposta; nel seguito si illustrano i principali risultati.

La valutazione dell'effetto dell'impianto SCR viene ottenuta confrontando lo *Scenario C* (CCGT con solo sistema DLN) con lo *Scenario D* (CCGT con sistema DLN+SCR).

CCGT 400 MWe NEL PORTO INDUSTRIALE DI TRIESTE
STUDIO DI FATTIBILITÀ SULL'INSTALLAZIONE DI UN IMPIANTO DI TIPO SCR

Documento no.:	Foglio	Rev.:					Documento Cliente no :
08110-HSE-R-0-311	15 di 15	00					

Con riferimento all'applicazione *long-term* si può verificare che l'applicazione dell'impianto SCR determina un trascurabile miglioramento (0,01-0,05 µg/m³) sul valore medio annuo della concentrazione di NO₂ nell'insieme delle centraline, mentre la presenza di ammoniaca produrrebbe dei picchi orari fino a 4 µg/m³.

Sulla base di queste evidenze lo studio conclude che *“la presenza di un impianto SCR non appare giustificato dai valori medi annuali ottenuti (Scenario D), anche in considerazione dello slip di ammoniaca che indurrebbe concentrazioni di ammoniaca in una ampia zona sull'area di Trieste”*. Questi risultati si giustificano considerando che il comparto industriale ha in genere una bassa incidenza sulle concentrazioni di NO₂ nell'area di Trieste e che, inoltre, all'interno del comparto industriale, la centrale in progetto non ha un peso predominante rispetto a tutti gli ossidi di azoto di origine industriale emessi nella zona.

L'applicazione *short-term* conferma i risultati qui riassunti.

Tenuto quindi conto dei significativi costi di investimento associati alla tecnologia SCR, degli oneri gestionali che ne conseguirebbero, dell'esigenza di approvvigionarsi di una materia prima con caratteristiche di pericolosità (ammoniaca) e con consumi stimabili in alcune centinaia di t/anno di prodotto puro, delle minori efficienze di produzione elettrica, degli inapprezzabili benefici sulla riduzione degli ossidi di azoto rilevabili alle centraline e del sostanziale incremento delle concentrazioni di ammoniaca a causa dell'*ammonia slip*, il presente studio di fattibilità giunge alla conclusione che la presenza di un impianto SCR presso la centrale CCGT in progetto non appare concretamente giustificabile.