

ANALISI DELLE EMISSIONI DA TAGLIO TERMICO DI MATERIALE PROVENIENTE DA UNA CENTRALE NUCLEARE IN FASE DI SMANTELLAMENTO

C. Bernini^o, F. Cesari*, A. Giostri[#], E. Sirito^γ, M. Sirito^γ, Luigi Andrea Terzi*

^oINFM – Genova

[#] SOGIN Caorso

^γ SAFIM - SIGE

*Dipartimento di Ingegneria Energetica, Nucleare e del Controllo Ambientale,
Università degli Studi di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna

SOMMARIO

Le operazioni di decommissioning, nella più grande centrale elettronucleare italiana, quella di Caorso, sono cominciate il 4/8/2000 con la presentazione, da parte del MICA, del documento che sanciva il passaggio alla fase di “Disattivazione Accelerata”. Tra le operazioni attualmente in corso, vi è anche la rimozione del materiale e dei componenti situati in Edificio Turbina. Si è già provveduto a rimuovere il trasformatore, l’alternatore e tre delle quattro turbine presenti sull’impianto. Con le prime operazioni di smantellamento la soc. SO.G.I.N., Area disattivazione Caorso, che gestisce le attuali operazioni sull’impianto nucleare, ha deciso di approfondire le tecniche di taglio adottate, anche in previsione delle attività successive, che richiederanno interventi decisamente più complessi, in zone dell’impianto più contaminate ed in spazi più angusti. In quest’ottica si è iniziata una collaborazione con l’Università di Bologna. Per prima cosa si è deciso di valutare il tipo di emissioni associate ai processi di taglio. È stata organizzata una campagna sperimentale su simulacri in lega ferrosa, provenienti direttamente dall’impianto, per testare il taglio ossiacetilenico e il taglio con torcia al plasma, i due processi di taglio termico indicati dai responsabili dell’impianto.

LA CENTRALE ELETTRONUCLEARE DI CAORSO

La centrale elettronucleare di potenza situata nei pressi di Caorso, in provincia di Piacenza, è il più grande impianto nucleare italiano, un BWR da 851 MWe e 2640 MWt. Fermato nel 1986 per normali operazioni di manutenzione, non è stato successivamente più riavviato in seguito al referendum sull’uso del nucleare in Italia del 1987. L’impianto detiene gran parte dell’inventario di materiale radioattivo, dovuto allo sfruttamento dell’energia nucleare per la produzione di energia elettrica, presente in Italia.

Il processo di decommissioning è stato avviato, dopo aver ottenuto tutte le necessarie autorizzazioni procedurali, alla fine del 1999, con il passaggio alla strategia detta della “Disattivazione Accelerata”, sancito dal MICA con il documento presentato il 4 Agosto del 2000.

Le attività di smantellamento

L’attività di decommissioning vera e propria ha subito una accelerazione dal 1999, anno in cui si è arrivati alla definizione di un concreto piano di smantellamento, che dovrebbe portare al definitivo rilascio del sito nel 2017, e si è dato avvio effettivo ai primi lavori.

L’impianto, la cui costruzione fu completata alla fine degli anni ’70, non fu concepito pensando direttamente alla fase di smantellamento. Il processo di rimozione e di taglio delle strutture e dei componenti evidenzia complicazioni, che non sono dovute solamente alla presenza di materiale radioattivo, ma anche a difficoltà di manovra, alle limitazioni da zone anguste, alla scarsa visibilità di taluni ambienti e, in alcuni casi, alla difficoltà nell’ottenere e nel mantenere un’appropriata circolazione d’aria.

Attualmente si sta procedendo alla rimozione dei

componenti presenti nell’Edificio Turbina, che fa anch’esso parte della Zona Controllata. Essendo, infatti, l’impianto equipaggiato con un reattore ad acqua bollente, il fluido refrigerante, acqua, che, passando attraverso i canali del core, trascina con sé anche particelle radioattive, ha attraversato le turbine stesse, depositando sulla loro superficie materiali di contaminazione. Se però nell’isola nucleare vera e propria i livelli di radioattività riscontrati sono ancora piuttosto elevati, in taluni casi si arriva ad attività specifiche di migliaia di Becquerel per grammo, nell’Edificio Turbina il livello di radioattività è decisamente contenuto. Il materiale da asportare dalle superfici è perlopiù già adesso, senza il ricorso a complessi procedimenti di decontaminazione, al di sotto del livello di rilascio incondizionato. Si ricordi a tal proposito che la soglia di rilascio incondizionato, per quel che concerne la contaminazione radioattiva superficiale, è posta pari ad 1Bq/cm^2 ¹.

Ambito della ricerca

Si è dato inizio ad una collaborazione tra l’Università e la soc. SOGIN di Caorso con l’intento, in primis, di valutare la pericolosità dei processi di taglio in essere e la possibilità di ottimizzare le procedure di esecuzione, per renderle più efficienti e sicure. Poiché in questa fase iniziale il processo di rimozione e di taglio delle strutture e dei componenti, nell’impianto nucleare stesso, presenta anche difficoltà oggettive, che non sono direttamente legate alla presenza di radioattività, si è scelto di affrontare la valutazione dei

¹ Si dà qui conto della contaminazione in Co^{60} , che è il radioisotopo di riferimento nell’impianto e rispetto al quale tutti gli altri agenti contaminati radioattivi vengono parametrizzati.

processi di taglio innanzitutto da un punto di vista convenzionale, prima di passare al trattamento di materiale effettivamente contaminato.

La campagna di prove sperimentali, che si sta conducendo, è uno studio applicativo di messa a punto dei sistemi di taglio termico, quali il taglio ossiacetilenico e quello con torcia al plasma, dei sistemi di captazione dei fumi e di analisi delle emissioni da associare alle tecnologie di taglio usate. I processi di taglio termico sono stati indicati dalla soc. SOGIN, che non ritiene per il momento utile adottare procedimenti di taglio in umido. I tagli vengono realizzati manualmente, ricorrendo ad un sistema di captazione e di filtraggio mobile, la cui duttilità va verificata, nell'ottica di successivi tagli in campo, in situazioni di difficile manovrabilità di tali apparecchiature. I dispositivi di taglio e il materiale da sezionare nella campagna sperimentale è stato fornito dalla centrale ed è di diretta provenienza dall'impianto, data la necessità di rendere le prove quanto più simili possibile alla effettiva esecuzione dei tagli in campo.

CAMPAGNA DI PROVE

La campagna di prove è in atto. Sono già disponibili alcuni risultati preliminari, facenti riferimento alle prime sequenze di taglio effettuate. I simulacri da tagliare, che sono stati scelti congiuntamente dal personale universitario e da quello di centrale, sono di due diverse geometrie, cilindrica e piana, per simulare le differenti condizioni di taglio. Il materiale è acciaio al carbonio, con diversi tipi di trattamento superficiale, riproducendo, quanto più possibile, la casistica presente in impianto. Si tratta di segmenti prelevati da componenti e da tubazioni collocati in diverse parti del circuito secondario. Il materiale non è attivato e presenta un livello di contaminazione superficiale sulle facce interne, quelle a diretto contatto con il fluido di processo, al di sotto del livello di rilascio incondizionato. Questo ha consentito di trasportare i simulacri al di fuori della centrale nucleare, realizzando una serie di test che, come detto, innanzi tutto riproducono la rimozione di materiale, che avviene in Edificio Turbina con materiale debolmente contaminato e con problematiche, per molti versi, ancora convenzionali.

Descrizione della campagna

I tagli sono stati realizzati in un ambiente di 1.750 m³, per il quale è stato predisposto un ricambio d'aria all'ora, secondo le indicazioni dei responsabili della centrale di Caorso. Si è trattato, anche in tal caso, di una scelta dovuta alla volontà di riprodurre, laddove sia possibile, le condizioni di lavoro quanto più vicine a quelle presenti effettivamente in centrale.

I tubi sottoposti alle operazioni di smembramento vengono collocati all'interno di una vasca metallica dai bordi rialzati (ghiotta), nella quale si raccolgono le scorie ed i detriti di taglio. Successivamente questi, raccolti in contenitori e classificati, quali reperti solidi insieme con gli spezzoni risultanti dai tagli, possono essere rinviati con tutto il resto del materiale alla centrale di Caorso. Su tali reperti si potranno realizzare eventualmente successive analisi, anche di tipo radiologico.

Un operatore qualificato realizza il taglio, facendo uso della torcia o del cannello ossiacetilenico. Se l'operazione avviene su di un simulacro di forma cilindrica, disposto ad asse orizzontale, il taglio viene realizzato a rondelle di piccolo spessore, in modo da aumentare la quantità di materiale

tagliata e così la durata del taglio. Ciò è imposto dalla esigenza di campionare i fumi emessi per un intervallo di tempo sufficiente lungo, in modo da rendere le rilevazioni statisticamente significative. Le rondelle ed i residui di taglio sono raccolti e classificati. La bocca del sistema aspirante, che ha una portata nominale massima dichiarata di 1.500 m³/h d'aria, è posta in corrispondenza del punto di taglio per meglio captare i fumi rilasciati. Il condotto di aspirazione è collegato al sistema filtrante, che è sistemato in un apparato mobile, costituito da due pre-filtri a monte di un filtro HEPA H13 e da un ventilatore.

Il sistema di prelievo dei campioni è stato realizzato tramite un tubo (detto camino) di opportune dimensioni, innestato direttamente sul condotto di aspirazione. Da alcune derivazioni si provvede a ottenere le portate necessarie da inviare su filtri per ottenere i residui, utili alle analisi per determinare i seguenti inquinanti, liberati nel taglio

- Polveri;
- Aerosol
- Manganese;
- Nichel;
- Cromo totale;
- Cromo esavalente;
- Zinco;
- Piombo;
- Ossidi di azoto (NO_x);
- Sostanze organiche volatili (S.O.V.).

Ciascun campionamento corrisponde ad un taglio della durata complessiva di mezz'ora. Una prova completa consiste di tre tagli di mezz'ora ciascuno, con tre prelievi complessivi per un periodo di taglio totale del simulacro di un ora e mezza.

Congiuntamente ai prelievi, precedentemente indicati, si è deciso di sottoporre ad indagine anche la granulometria e la composizione delle particelle, tipo aerosol, sospese e trascinate dalle volute dei fumi emessi dai due diversi processi di taglio. Il punto di prelievo, diverso da quello utilizzato per gli altri campionamenti, è localizzato, o nel camino per il campionamento a monte del filtro assoluto, o sul condotto di restituzione delle captazioni verso l'ambiente, per il campionamento a valle del filtro stesso. Per la raccolta degli aerosol vengono utilizzati filtri in teflon, prelevati dopo la prima mezz'ora di taglio e sottoposti alla scansione da parte di microscopio elettronico.

Sequenza Operativa

Sono qui di seguito riportati i simulacri sottoposti alle prove di taglio e le relative operazioni di sezionamento previste per ciascuno di essi:

1. spezzoni di tubo da 4", operazione di taglio condotta in posizione ad asse orizzontale
 - a) ossitaglio (3 prelievi);
 - b) plasmataglio (3 prelievi);
2. spezzone di tubo da 10", operazione di taglio condotta in posizione ad asse orizzontale
 - a) ossitaglio (3 prelievi);
 - b) plasmataglio (3 prelievi);
3. spezzone di tubo per condensato in alimento da 6", in posizione ad asse verticale

- a) plasmataglia (3 prelievi);
4. 4 spezzoni di tubo da 32'', in posizione ad asse orizzontale
- a) due spezzoni con ossitaglio (3 prelievi);
- b) due spezzoni con plasmataglia (3 prelievi)
5. piastra e due flange,
- a) piastra con ossitaglio (1 prelievo);
- b) flange con ossitaglio (2 prelievi).

Salvo eventuali difficoltà od impedimenti, l'effettiva sequenza operativa prevede l'esecuzione in una prima fase di tutti i tagli da effettuarsi con cannello ossiacetilenico, nella fase successiva saranno prodotti i tagli con torcia al plasma.

RISULTATI

Vengono qui presentati i risultati preliminari. Si tratta di dati ancora estremamente parziali, per cui le indicazioni che si possono ottenere sono, per forza di cose, ancora sommarie e, quindi, suscettibili di eventuali modifiche.

Nella Tab. 1, in particolare, sono riportate la analisi condotte sul simulacro 1 prova a), quindi su tubazione da 4'', con taglio ossiacetilenico.

Tab. 1 – Analisi campione COD01

Parametro	Campione	Concentrazione [mg/Nm³]
<i>Polveri</i>	1	6,1
	2	12,4
	3	5,4
<i>Manganese</i>	1	0,009
	2	0,019
	3	0,009
<i>Nichel</i>	1	0,009
	2	0,012
	3	0,007
<i>Cr Totale</i>	1*	0,012
	2*	0,012
	3*	0,012
<i>Cr VI</i>	1*	0,004
	2*	0,004
	3*	0,004
<i>Zinco</i>	1	0,031
	2	0,049
	3	0,023
<i>Piombo</i>	1*	0,012
	2*	0,012
	3*	0,012
<i>Ossidi di Azoto</i>	1	4,11
	2	6,16
	3	4,72
<i>S.O.V.</i>	1*	0,34
	2*	0,34
	3*	0,34

*t.n.d.= tracce non dosabili: limite inferiore della sensibilità del metodo analitico

Nella Tab. 2 sono riportati, invece, i risultati delle analisi condotte sui tre campionamenti, prelevati durante l'esecuzione del test sul simulacro classificato quale 2b. Si tratta di una

prova, che impiega quale dispositivo di taglio la torcia al plasma. La presenza di Piombo, in quantità molto maggiori che nel caso precedente, come si evince confrontando le due tabelle, deriva dal trattamento superficiale, cui è stato sottoposto lo spezzone da 10''. La superficie esterna è stata ricoperta con verniciatura al minio, ricoprente cui spesso si è ricorso per la difesa superficiale di materiali ferrosi in centrale e che di base è sesquiossido di Piombo.

Tab. 2 – Analisi campione COD02

Parametro	Campione	Concentrazione [mg/Nm³]
<i>Polveri</i>	1	80,7
	2	60,3
	3	47,8
<i>Manganese</i>	1	0,174
	2	0,077
	3	0,021
<i>Nichel</i>	1	0,016
	2	0,026
	3	0,017
<i>Cr Totale</i>	1*	0,012
	2*	0,019
	3*	0,017
<i>Cr VI</i>	1*	0,004
	2*	0,004
	3*	0,004
<i>Zinco</i>	1	0,031
	2	0,040
	3	0,033
<i>Piombo</i>	1*	1,047
	2*	1,181
	3*	1,721
<i>Ossidi di Azoto</i>	1	26,69
	2	57,48
	3	36,95
<i>S.O.V.</i>	1*	0,34
	2*	0,34
	3*	0,34

* t.n.d.= tracce non dosabili: limite inferiore della sensibilità del metodo analitico

I risultati più significativi delle analisi anche meglio si evidenziano con l'aiuto dell'istogramma, rappresentato nella Fig. 1.

I valori riprodotti sono stati ottenuti mediando i risultati delle tre analisi condotte per ogni processo di taglio. Va ribadito che le condizioni realizzate con entrambi i processi di taglio in questa fase di sperimentazione rispettano completamente quelle che si dovranno avere nelle operazioni di smantellamento in campo, cioè in centrale. Il primo dato significativo è la quantità di polveri. E' nettamente più elevata nel plasmataglia, che però interviene su materiale trattato superficialmente con minio. Anche la quantità di prodotti gassosi è molto maggiore, come appare evidente dalla considerazione delle concentrazioni degli ossidi d'azoto, che meglio si spiegheranno più avanti. Nell'esecuzione di processi di taglio ossiacetilenico sembra riscontrarsi una minor influenza sulle emissioni, che trovano conferma anche dalla sensazione puramente visiva sulle volute dei fumi generati.

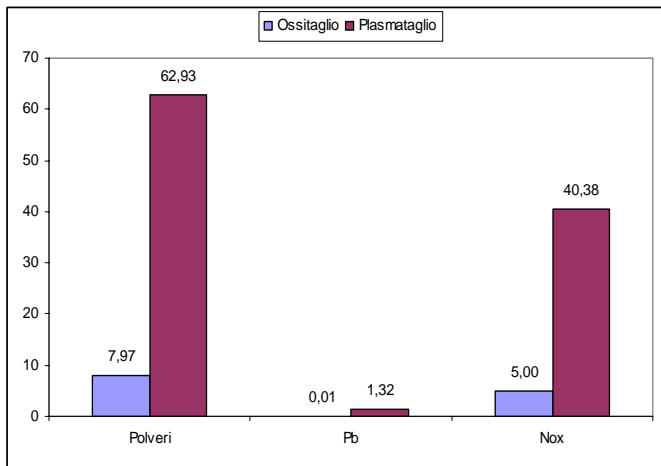


Fig. 1 – Confronto tra plasmataglio ed ossitaglio

La maggior quantità di emissioni riscontrate nel plasmataglio si potrebbe verosimilmente far risalire alle diverse temperature in gioco. Se nel taglio ossiacetilenico la temperatura del bagno di fusione è nell'ordine delle migliaia di gradi, nel taglio al plasma si supera facilmente tale entità (andando anche oltre i 10.000 °C).

Tab. 3 – Analisi ambientale

Parametro	Campione	Concentrazione [mg/m³]	Valore limite [mg/m³]
<i>Polveri</i>	Pers P1	5,6	10
	Amb A1	2,8	
<i>Manganese</i>	Pers P1	0,023	0,2
	Amb A1	0,010	
<i>Nichel</i>	Pers P1	t.n.d. < 0,004	0,1
	Amb A1	0,003	
<i>Cr Totale</i>	Pers P1	t.n.d. < 0,010	0,5
	Amb A1	t.n.d. < 0,002	
<i>Cr VI</i>	Pers P1	t.n.d. < 0,002	0,01
	Amb A1	t.n.d. < 0,0004	
<i>Zinco</i>	Pers P1	0,015	10⁽²⁾
	Amb A1	0,362	
<i>Piombo</i>	Pers P1	0,260	0,05⁽³⁾
	Amb A1	0,059	
<i>NO_x</i>	Pers P1	t.n.d. < 0,607	31
	Amb A1	t.n.d. < 0,607	
<i>S.O.V.</i>	Pers P1	t.n.d. < 0,08	(4)
	Amb A1	t.n.d. < 0,04	

⁽²⁾ Limite espresso come Ossido di zinco polvere.

⁽³⁾ Per il parametro Piombo il Decreto 26 febbraio 2004 fissa un valore limite

⁽⁴⁾ Per le sostanze organiche volatili il valore limite di soglia previsto è diverso per le singole sostanze. Non essendo presenti sostanze in quantità rilevabile non è possibile associare un valore limite.

Nella Tab. 3 sono infine riportate le rilevazioni da sensori sistemati nell'ambiente e sull'operatore dopo l'intera sessione di prove. Complessivamente si tratta del sezionamento di due spools, per un totale di 3 ore effettive di taglio termico. I valori riportati in rosso rappresentano i limiti massimi di concentrazione ambientale secondo le normative di igiene industriale correnti. Si fa riferimento in particolare, salvo laddove riportato, ai valori limite di soglia proposti dall'Associazione degli Igienisti Industriali ACGIH, edizione 2003. Tutti i limiti sembrano essere rispettati, ad eccezione di quello per il Piombo per i motivi, già addotti. Va, comunque, rilevato il dato delle polveri ambientali, che, pur essendo tranquillante rispetto al limite di norma, fa riscontrare una quantità certamente non piccola 2.800 µg/mc.

La scansione del filtro in teflon per l'esame della granulometria degli aerosol è stata condotta mediante un Microscopio Elettronico LEICA CAMBRIDGE 360 con sonda EDS per la Microanalisi OXFORD PENTAFET.

Dai referti risulta evidente un tappeto di particelle a granulometria molto fine, sul quale giacciono, con bassa densità, particelle a granulometria più elevata (1÷5 µm). A titolo d'esempio sono riportate due immagini, in cui molto chiaramente si rileva quanto sopra esposto.

Oltre all'esame morfologico, mediante la sonda per la microanalisi EDS, è stata effettuata un'indagine per evidenziare gli elementi presenti all'interno della polvere. Il campione è stato analizzato in più zone. Lo spettro ottenuto è rappresentativo per tutto il campione e mostra la presenza di Fe, Pb e tracce di Mn e di Cu, a caratterizzare soprattutto le particelle aggregate in forma sferica.

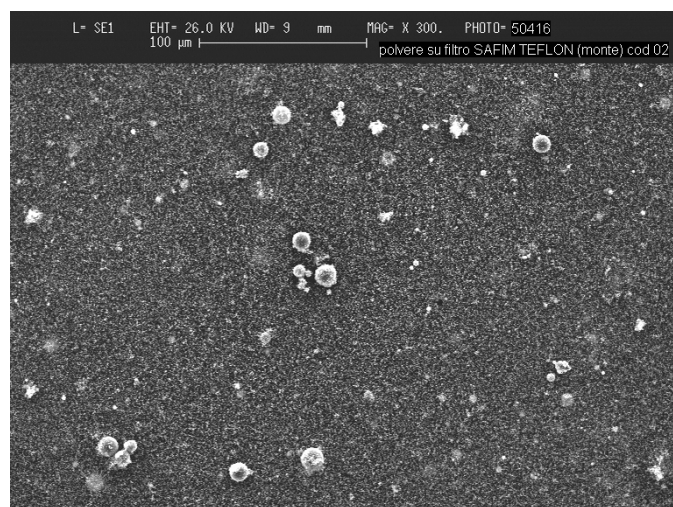


Fig. 2

CONSIDERAZIONI FINALI

Pur ricordando come al momento si abbiano a disposizione risultati molto parziali, che si riferiscono soltanto ad una piccola parte dei test previsti, alcune indicazioni orientative stanno già emergendo.

Con molta evidenza appare la maggior quantità di polveri, che le operazioni di taglio con torcia al plasma producono, certamente più del taglio ossiacetilenico. Si dovrà verificare il peso che il trattamento superficiale con minio possa avere nell'incrementare le polveri prodotte. La presenza di NO_x in maggior concentrazione potrebbe, invece, essere fatta risalire

al gas di confinamento della torcia al plasma. Infatti, il dispositivo impiegato non fa ricorso a gas inerte, ma ad aria, che è naturalmente ricca d'Azoto

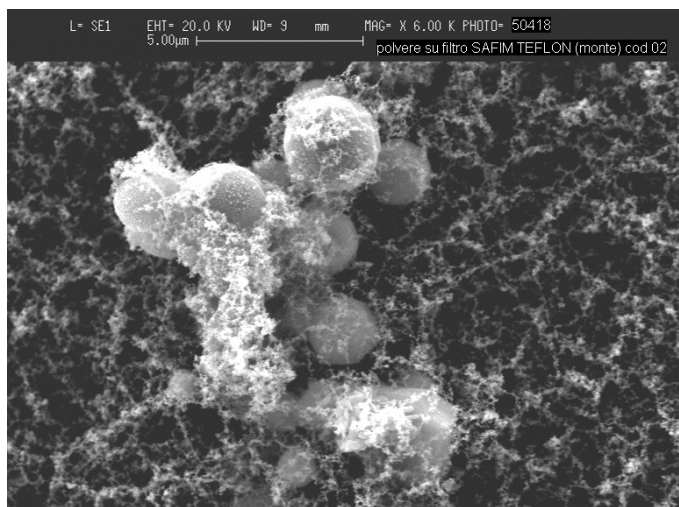


Fig. 3

Il sistema di captazione è realizzato, come si è detto, da una sola bocca aspirante, che è posta a circa una ventina di centimetri dal punto di taglio in altezza e dall'asse del simulacro. E' difficile disporla più vicino, se non si vuole intralciare il lavoro dell'operatore ed è altrettanto dubbio, che, prevedendone due, l'effetto sulla captazione sia migliore. Anche perché si dovrebbe disporre di un sistema di aspirazione nettamente migliore, volendo imporre ad ogni bocca una portata analoga a quella attualmente disponibile.

Per quanto efficace possa essere l'aspirazione, basti pensare alla quantità di polvere effettivamente emessa, che complessivamente è quasi di 70 mg/Nm^3 , a fronte di una concentrazione ambientale di $2,8 \text{ mg/Nm}^3$, non sembra essere -e realisticamente non può essere- in grado di catturare completamente tutte le volute di fumo liberate. La dose personale di $5,6 \text{ mg/Nm}^3$ è un valore piuttosto elevato, a maggior ragione tenendo anche conto che si tratta di dati riferentesi a tre ore complessive di taglio. Tutto ciò rilevato, la portata dell'attuale sistema aspirante sembrerebbe corrispondere ad un minimo essenziale dal punto di vista, sia tecnico, sia economico.

La durata di captazione, che per ogni prova è di circa un'ora mezza quasi in continuo, è indubbiamente condotta in condizioni molto severe. Difficilmente si può avere in cantiere una durata di taglio senza interruzioni, che si estenda per siffatto periodo di tempo. Ciò consente di avere nella fase sperimentale condizioni di diluizione delle emissioni non migliori rispetto a quelle che si avranno in campo.

Tutte queste osservazioni, come quelle precedentemente esposte, sono ovviamente soggette a verifiche, ad approfondimenti e ad eventuali riconsiderazioni a man a mano che si renderanno disponibili i risultati definitivi.

La campagna sperimentale è, comunque, certamente prodroma ad un discorso complessivo, ancor più accurato, che tenga conto anzitutto delle "NON" convenzionalità dei sistemi, sui quali si andrà ad intervenire. Già da queste prime analisi, ad esempio, appare plausibile cominciare a valutare la possibilità di introdurre opzioni, quali la remotizzazione dei processi di taglio specie per interventi rilevanti per dimensioni di componente e/o per spessore di parete.