

1 L'IMPIANTO DI TRATTAMENTO RSU DI CA' DEL BUE

1.1 Introduzione

Il 20 dicembre 1999 è stato avviato l'impianto di trattamento Rifiuti Solidi Urbani (R.S.U.) realizzato in località Ca' del Bue dall'Azienda Generale dei Servizi Municipalizzati (AGSM) di Verona. L'impianto è poi rimasto fermo per tutto il 2001, ha funzionato per alcuni giorni al mese nel 2002 e solo con l'inizio del 2003 ha cominciato a 'lavorare' con una certa regolarità; attualmente è in grado di gestire circa 400 tonnellate al giorno di rifiuti provenienti dal comune di Verona e da alcuni comuni della Provincia. L'attività specifica dei forni è riassunta in Tabella 1-1.

Tabella 1-1: Attività di funzionamento dei forni dell'impianto di trattamento Rifiuti Solidi Urbani realizzato da AGSM in località Ca' del Bue.

| Anno | Forno 1 | Forno 2 |
|------|--|--|
| 2000 | Circa 1 settimana | Circa 10 giorni |
| 2001 | Fermo | fermo |
| 2002 | Fermo | Da luglio alcuni giorni al mese per la messa a punto dell'impianto |
| 2003 | Dal 13.02 al 21.03 Dal 05.05 al 30.05 | Dal 15.01 al 10.02 |
| | | Dal 22.04 al 01.05 |
| | | Dal 16.06 al 01.07 |
| | | Dal 14.07 al 27.07 |
| | | Dal 15.08 al 22.08 |

1.2 Caratteristiche generali dell'impianto

L'impianto di trattamento dei Rifiuti Solidi Urbani (RSU) e cogenerazione realizzato dall'Azienda Generale dei Servizi Municipalizzati (AGSM) di Verona in località Ca' del Bue è un sistema complesso costituito da diversi impianti tecnologici finalizzati al trattamento e allo smaltimento dei RSU: sezione di ricevimento e selezione dei rifiuti, sezione di digestione anaerobica della componente organica (con produzione di biogas), sezione di termotrattamento della frazione combustibile con produzione di energia e sezione di trattamento dei reflui liquidi.

Le caratteristiche tecniche generali delle diverse sezioni impiantistiche che costituiscono l'impianto sono riassunte nei paragrafi che seguono¹.

1.2.1. Sezione di ricevimento e selezione dei rifiuti

La prima sezione impiantistica dell'impianto di "Ca' del Bue" è costituita da:

1. ingresso portineria e stazione di pesatura;
2. piazzale di conferimento;
3. fossa RSU;
4. selezione pellettizzazione;
5. stoccaggi RDF (Refuse Derived Fuel = Combustibile Derivato dal Rifiuto) e fanghi.

Gli automezzi di raccolta dei RSU, dopo essere stati pesati, accedono alla fossa di raccolta che, con una capacità di 5000 m³, consente uno stoccaggio pari a circa 3 giorni di conferimento. Dalla fossa i rifiuti vengono convogliati, tramite carriponte con benna a polipo, alle tramogge delle linee di selezione.

La "selezione umido secco", strutturata su due linee parallele, si effettua attraverso una serie di processi di triturazione, deferrizzazione, separazione e vagliatura, che separano i rifiuti in 4 componenti: materiale ferroso (da inviare alla fonderia), frazione organica, frazione combustibile (sottoposta ad una ulteriore triturazione viene inviata alla 'produzione del RDF' che avviene a mezzo di brichettatrici) ed inerti e scarti.

¹ Sicea s.r.l., "Programma dei controlli" 20.12.02.

1.2.2. Sezione di digestione anaerobica e biogas

La sezione 'trattamento organico' ha lo scopo di trasformare, decomponendolo, il materiale umido (frazione organica) in biogas e fanghi. Il biogas viene utilizzato in motori a ciclo Otto di cogenerazione per la produzione di energia elettrica e termica. È costituita da:

1. digestione anaerobica;
2. gasometro;
3. torcia;
4. disidratazione fanghi;
5. essiccazione fanghi;
6. motori a ciclo otto.

La sostanza organica, proveniente dalle linee di selezione, viene prima portata ad un opportuno livello di umidità e poi inviata a 4 digestori anaerobici dove, in condizioni adeguate, si innesca il processo biologico di digestione anaerobica che permette di produrre biogas che viene infine desolforato e convogliato in un gasometro.

I fanghi in uscita dai digestori sono trattati mediante un idrociclone al fine di ridurre ulteriormente gli inerti, e dopo un condizionamento chimico, vengono disidratati meccanicamente; possono poi essere essiccati per lo stoccaggio o essere direttamente inviati ai forni.

1.2.3. Sezione di termotrattamento

La sezione di termotrattamento, schematizzabile in 2 parti: energetica e ciclo combinato, è costituita da:

1. fossa RDF;
2. forni inceneritori;
3. caldaie a recupero;
4. ciclo termico;
5. linea fumi;
6. stoccaggio ceneri / polveri;
7. condensatore ad aria.

La parte energetica è costituita da:

- due forni a letto fluido bollente, ciascuno della potenzialità di 30000000 cal/h, dotati di camera di postcombustione nei quali avviene la combustione dell'RDF e del fango essiccato, precedentemente miscelati. Il materiale da termodistruggere viene tenuto in sospensione (fluidificato) da una corrente inviata attraverso una piastra. La portata di RDF-fanghi ad ogni forno può variare da 8 a 12 t/h. La temperatura di esercizio è di 800-850 °C nel letto fluidizzato e di 950 °C in camera di post combustione;
- due caldaie a recupero a tubi d'acqua nelle quali i fumi cedono energia termica all'acqua di processo che si trasforma in vapore. Ogni caldaia può produrre 45 t/h di vapore surriscaldato a 54 bar e alla temperatura di 380 °C;
- una turbina a vapore nella quale l'energia termica del vapore viene in parte convertita in energia meccanica e in parte utilizzata per il teleriscaldamento. Il vapore passa quindi al condensatore ad aria per poi riprendere il ciclo;
- un generatore che converte l'energia meccanica prodotta dalla turbina a vapore in energia elettrica;
- un sistema termico per alimentare il teleriscaldamento;
- una linea fumi per il condizionamento e l'evacuazione dei gas di combustione.

La parte ciclo combinato è costituita:

- una turbina a gas, alimentata con gas naturale, nella quale l'energia potenziale del combustibile viene trasformata in energia meccanica;
- un generatore elettrico;
- una caldaia a recupero nella quale i fumi cedono energia termica all'acqua di processo che si trasforma in vapore; inoltre tale caldaia surriscalda ulteriormente il vapore dalle caldaie a recupero sui forni. La miscela dei due flussi di vapore viene inviata alla turbina a vapore a 450 °C e 51 bar;
- la turbina a vapore, il generatore elettrico, e le due caldaie a recupero descritte nella sezione energetica vengono utilizzate anche dalla sezione ciclo combinato.

1.2.4. Sezione di trattamento dei reflui liquidi

È costituita da:

1. trattamento acque.

Alla fine del processo di trattamento dei RSU sono previste una serie di vasche di accumulo e omogeneizzazione che raccolgono i reflui liquidi provenienti varie parti dell'impianto e dalle canaline di drenaggio poste sui piazzali all'interno dei singoli impianti.

Vengono effettuati 3 stadi di depurazione:

- Separazione degli oli che vengono inviati a smaltimento mediante autospurgo.
- Vasca di flocculazione: tramite l'aggiunta di reagenti ed alcalinizzanti che neutralizzano le azioni di repulsione elettrostatica dei colloidali in sospensione si ha l'aggregazione in microflocchi che, opportunamente agitati, si aggregano tra loro formando fiocchi con buone proprietà di sedimentazione.
- Vasca di chiarificazione: vengono eliminati i fiocchi non sedimentati.

Il refluo depurato viene smaltito presso il depuratore comunale tramite rete fognaria, mentre i fanghi sono inviati alle nastropresse.

1.3 Qualità dell'aria

Nel presente paragrafo si riportano i valori registrati dal 1 gennaio 1997 al 31 dicembre 2002 da tutte le stazioni automatiche del sistema di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico, progettato per le misure in continuo delle ricadute dell'impianto.

La rete delle stazioni automatiche di controllo delle ricadute dell'impianto comprende le stazioni indicate in Tabella 1-2. La stazione di San Martino Buon Albergo è di proprietà dell'ARPAV dal 20 gennaio 1999 (prima del 1999 era gestita dalla Provincia di Verona), mentre le Stazioni di Ca' del Bue e Matozze installate dall'AGSM il 1 gennaio 1999 sono gestite dall'ARPAV dal 1 giugno 2003. La stazione di San Giovanni Lupatoto installata il 01.01.93 dalla Provincia di Verona è stata poi sostituita (01.01.99) da una centralina dell'AGSM, installata nel medesimo punto, e dal 1 giugno 2003 è gestita dall'ARPAV.

Tabella 1-2: Stazioni automatiche della rete di controllo delle ricadute dell'impianto di trattamento Rifiuti Solidi Urbani realizzato da AGSM in località Ca' del Bue.

| postazione | comune | località | periodo di funzionamento |
|------------|-------------------------|-----------------------------------|--|
| post.1 | S. Giovanni Lupatoto | Ca' Sorio | dal 01/01/93 al 21/06/98 e dal 01/01/99 |
| post.2 | S. Martino Buon Albergo | Case Nuove | dal 01/01/96 |
| post.3 | Verona | Ca' del Bue (prossimità impianto) | dal 01/01/99 |
| post.4 | Verona | Matozze | dal 01/01/99 |

I dati riportati nelle Tabella 1-3 - Tabella 1-12 sono stati organizzati per inquinante e rappresentati facendo riferimento ai criteri previsti dalla legge.

La normativa di riferimento per ogni inquinante è riportata nelle Tabella 1-3, Tabella 1-5, Tabella 1-7, Tabella 1-9 e Tabella 1-11.

I calcoli dei parametri statistici, riportati nelle Tabella 1-4, Tabella 1-6, Tabella 1-8, Tabella 1-10 e Tabella 1-12 sono stati eseguiti, come richiesto dalla normativa, sui dati validati presso i centri di elaborazione dell'AGSM e dell'ARPAV. L'operazione di validazione dei valori registrati dagli analizzatori automatici presenti nelle stazioni di misura è indispensabile perché permette di riconoscere tempestivamente eventuali dati anomali dovuti a malfunzionamenti degli apparecchi stessi. Tale operazione deve essere eseguita giornalmente solo dal personale esperto responsabile della rete. Si ritiene corretto specificare che l'operazione di validazione, eseguita dall'AGSM, non è stata eseguita giornalmente per i valori registrati dalle centraline di proprietà dell'AGSM dal 01.10.99 al 31.12.99 ma solo alla fine del periodo considerato e quindi in gennaio-febbraio 2000.

1.3.1 Biossido di zolfo (SO₂)

Adempimenti normativi

Tabella 1-3

| Tipo di esposizione: ESPOSIZIONE ACUTA | | | | |
|--|--|---|---|---|
| Parametro | Tipo di limite | Periodo di mediazione | Valore limite per il 2002 | Tempi di raggiungimento del valore limite (margine toll.) |
| Biossido di zolfo (SO ₂) | Valore limite orario per la protezione della salute umana (DM 60/02) | 1 ora | 440 µg/m ³ da non superare più di 24 volte per anno civile | 1/1/2001: 470 µg/m ³ 1/1/2002: 440 µg/m ³ 1/1/2003: 410 µg/m ³ 1/1/2004: 380 µg/m ³ 1/1/2005: 350 µg/m ³ |
| | Soglia di allarme (DM 60/02) | 500 µg/m ³ misurati su tre ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria di un'area di almeno 100 Km ² oppure in una intera zona o agglomerato, nel caso siano meno estesi | | |
| Tipo di esposizione: ESPOSIZIONE CRONICA | | | | |
| Parametro | Tipo di limite | Periodo di mediazione | Valore limite | Periodo di validità dei limiti attualmente previsti |
| Biossido di zolfo (SO ₂) | Valore Limite (DPR 203/88 e succ. mod.) | Mediana delle concentrazioni di 24 ore nell'arco di 1 anno ecologico | 80 µg/m ³ | Fino al 31/12/2004 |
| | Valore Limite (DPR 203/88 e succ. mod.) | 98° percentile delle concentrazioni medie di 24 ore rilevate nell'arco di un anno ecologico | 250 µg/m ³ | Fino al 31/12/2004 |
| | Valore Limite (DPR 203/88 e succ. mod.) | Mediana delle medie delle 24 ore in inverno (1/10 – 31/03) | 130 µg/m ³ | Fino al 31/12/2004 |
| Tipo di esposizione: PROTEZIONE DEGLI ECOSISTEMI | | | | |
| Parametro | Tipo di limite | Periodo di mediazione | Valore limite per il 2002 | Tempi di raggiungimento del valore limite (margine toll.) |
| Biossido di zolfo (SO ₂) | Valore limite per la protezione degli ecosistemi (DM 60/02) | Anno civile e inverno (1ottobre – 31marzo) | 20 µg/m ³ | 19 luglio 2001 |

Valori misurati:

Tabella 1-4: Concentrazioni di SO₂ misurate dalla rete di controllo dell'impianto di Ca' del Bue dal 1997 al 2002.

| SO ₂ | | | | | | | | |
|-----------------|------|-------------------------|--------------------------|--|--|---|--|--|
| Postazione | Anno | n° super. limite orario | n° super. soglia allarme | Mediana conc. 24 h anno ecologico (µg/m ³) | 98° perc. conc 24h anno ecologico (µg/m ³) | Mediana conc. 24 h inverno (µg/m ³) | Protezione ecosistemi: media anno (µg/m ³) | Protezione. ecosistemi: media inverno (µg/m ³) |
| S. Giovanni | 1997 | 0 | 0 | - | - | - | 4 | 3 |
| | 1999 | 0 | 0 | 2 | 12 | 2 | 4 | 3 |
| | 2000 | 0 | 0 | 3 | 7 | 3 | 3 | 3 |
| | 2001 | 0 | 0 | 4 | 9 | 5 | 4 | 5 |
| | 2002 | 0 | 0 | 5 | 12 | 5 | 5 | 5 |
| S. Martino | 1997 | 0 | 0 | 7 | 15 | 8 | 7 | 8 |
| | 1998 | 0 | 0 | 10 | 17 | 9 | 9 | 9 |
| | 1999 | 0 | 0 | 4 | 16 | 3 | 7 | 4 |
| | 2000 | 0 | 0 | 2 | 8 | 2 | 3 | 3 |
| | 2001 | 0 | 0 | 2 | 9 | 2 | 3 | 3 |
| Ca' del Bue | 2002 | 0 | 0 | 3 | 8 | 3 | 3 | 4 |
| | 1999 | 0 | 0 | 1 | 13 | 2 | 3 | 3 |
| | 2000 | 0 | 0 | 4 | 11 | 4 | 4 | 4 |
| | 2001 | 0 | 0 | 4 | 9 | 4 | 4 | 4 |
| Matozze | 2002 | 0 | 0 | 4 | 12 | 5 | 4 | 5 |
| | 1999 | 0 | 0 | 5 | 13 | 5 | 6 | 5 |
| | 2000 | 0 | 0 | 5 | 15 | 5 | 5 | 6 |
| | 2001 | 0 | 0 | 6 | 13 | 6 | 6 | 6 |
| | 2002 | 0 | 0 | 7 | 16 | 8 | 6 | 8 |

Dall'analisi delle Tabella 1-3, Tabella 1-4 risulta evidente che i valori di biossido di zolfo registrati dalle quattro stazioni automatiche della rete di monitoraggio risultano contenuti e tra di loro sostanzialmente allineati. Non solo è ampiamente rispettato il valore limite previsto per il 2002 ma anche quello previsto per il 2004.

1.3.2 Biossido di azoto (NO₂)

Adempimenti normativi

Tabella 1-5

| Tipo di esposizione: ESPOSIZIONE ACUTA | | | | |
|--|---|---|---|--|
| Parametro | Tipo di limite | Periodo di mediazione | Valore limite per il 2002 | Tempi di raggiungimento del valore limite (margine toll.) |
| Biossido di azoto (NO ₂) | Valore limite orario per la protezione della salute umana (DM 60/02) | 1 ora | 280 µg/m ³ da non superare più di 18 volte per anno civile | 1/1/2001: 290 µg/m3 1/1/2002: 280 µg/m3 1/1/2003: 270 µg/m3 1/1/2004: 260 µg/m3 1/1/2005: 250 µg/m3 1/1/2006: 240 µg/m3 1/1/2007: 230 µg/m3 1/1/2008: 220 µg/m3 1/1/2009: 210 µg/m3 1/1/2010: 200 µg/m3 |
| | Soglia di allarme (DM 60/02) | 400 µg/m3 misurati su tre ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria di un'area di almeno 100 Km ² oppure in una intera zona o agglomerato, nel caso siano meno estesi | | |
| Tipo di esposizione: ESPOSIZIONE CRONICA | | | | |
| Parametro | Tipo di limite | Periodo di mediazione | Valore limite per il 2002 | Tempi di raggiungimento del valore limite (margine toll.) |
| Biossido di azoto (NO ₂) | Valore limite annuale per la protezione della salute umana (DM 60/02) | Anno civile | 56 µg/m ³ | 1/1/2001: 58 µg/m3 1/1/2002: 56 µg/m3 1/1/2003: 54 µg/m3 1/1/2004: 52 µg/m3 1/1/2005: 50 µg/m3 1/1/2006: 48 µg/m3 1/1/2007: 46 µg/m3 1/1/2008: 44 µg/m3 1/1/2009: 42 µg/m3 1/1/2010: 40 µg/m3 |
| Tipo di esposizione: PROTEZIONE DEGLI ECOSISTEMI | | | | |
| Parametro | Tipo di limite | Periodo di mediazione | Valore limite per il 2002 | Tempi di raggiungimento del valore limite (margine toll.) |
| Biossido di azoto (NO ₂) | Valore limite per la protezione della vegetazione (DM 60/02) | Anno civile | 30 µg/m ³ | 19 luglio 2001 |

I grafici riportati nelle Figura 1-1 - Figura 1-3 evidenziano gli andamenti orari giornalieri delle concentrazioni di NO₂, espressi tramite il valore medio delle concentrazioni riferite alla medesima ora del giorno (giorno tipo), misurati presso le stazioni automatiche di San Giovanni Lupatoto, Ca' del Bue e Matozze negli anni riportati nella Tabella 1-6.

Valori misurati:

Tabella 1-6: Concentrazioni di NO₂ misurate dalle stazioni di monitoraggio della rete di controllo dell'impianto di trattamento RSU di Ca' del Bue dal 1997 al 2002.

| Postazione | Anno | NO ₂ | | | |
|-------------|------|-------------------------|--------------------------|---|---------------------------------------|
| | | n° super. limite orario | n° super. soglia allarme | Valore medio annuo (µg/m ³) | Superamenti valore limite medio annuo |
| S. Giovanni | 1997 | 0 | 0 | 52 | no salute si vegetazione |
| | 1999 | 0 | 0 | 37 | no salute si vegetazione |
| | 2000 | 0 | 0 | 35 | no salute si vegetazione |
| | 2001 | 0 | 0 | 35 | no salute si vegetazione |
| | 2002 | 0 | 0 | 40 | no salute si vegetazione |
| S. Martino | 1997 | 0 | 0 | 58 | si salute si vegetazione |
| | 1998 | 2 | 0 | 54 | no salute si vegetazione |
| | 1999 | 0 | 0 | 54 | no salute si vegetazione |
| | 2000 | 0 | 0 | 46 | no salute si vegetazione |
| | 2001 | 0 | 0 | 54 | no salute si vegetazione |
| | 2002 | 0 | 0 | 55 | no salute si vegetazione |
| Ca' del Bue | 1999 | 0 | 0 | 44 | no salute si vegetazione |
| | 2000 | 0 | 0 | 38 | no salute si vegetazione |
| | 2001 | 0 | 0 | 48 | no salute si vegetazione |
| | 2002 | 0 | 0 | 46 | no salute si vegetazione |
| Matozze | 1999 | 0 | 0 | 39 | no salute si vegetazione |
| | 2000 | 0 | 0 | 43 | no salute si vegetazione |
| | 2001 | 0 | 0 | 40 | no salute si vegetazione |
| | 2002 | 0 | 0 | 36 | no salute si vegetazione |

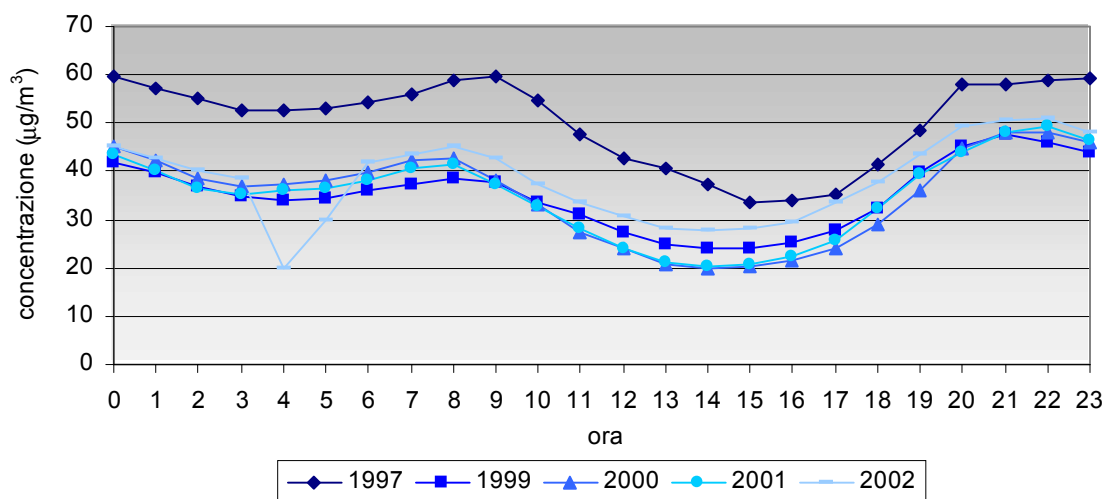
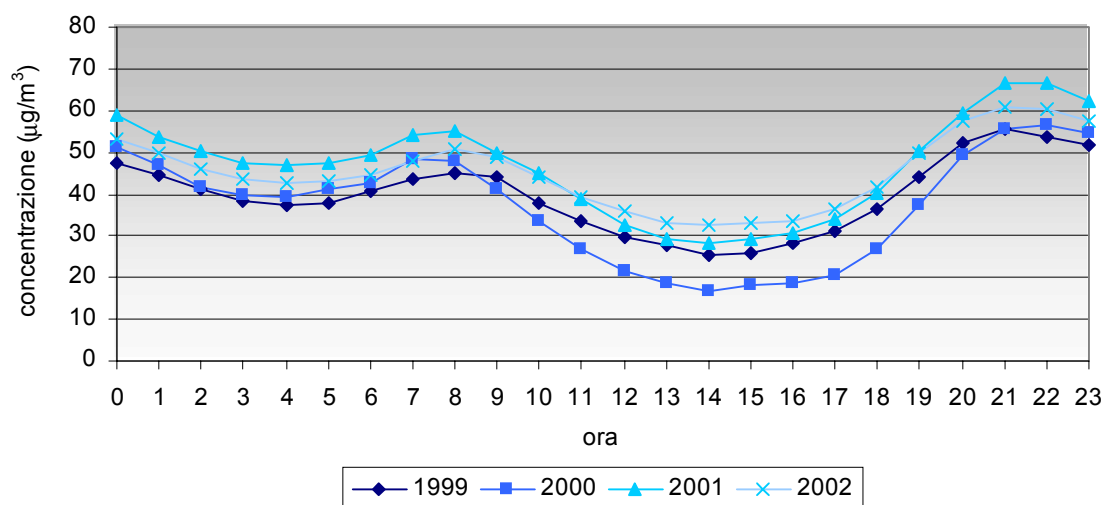
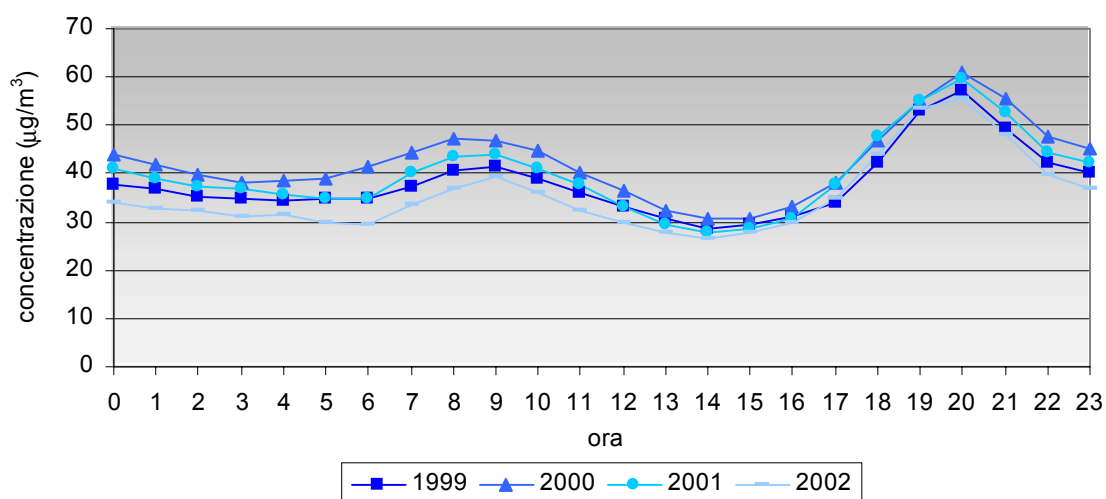
Figura 1-1: Giornata tipo delle concentrazioni di NO₂ – San Giovanni: anni 1997-2002.

Figura 1-2: Giornata tipo delle concentrazioni di NO₂ – Ca' del Bue: anni 1999-2002.**Figura 1-3:** Giornata tipo delle concentrazioni di NO₂ – Matozze: anni 1999-2002.

In riferimento alle concentrazioni di biossido di azoto misurate dalla rete di monitoraggio si segnalano solo 2 superamenti del limite orario nella centralina di San Martino Buon Albergo nel 1998, mentre si registrano numerosi superamenti del valore limite medio annuo riferito alla protezione degli ecosistemi.

1.3.3 Monossido di carbonio - CO

Adempimenti normativi

Tabella 1-7

| Tipo di esposizione: ESPOSIZIONE ACUTA | | | | |
|--|---|--|----------------------------|--|
| Parametro | Tipo di limite | Periodo di mediazione | Valore limite per il 2002 | Tempi di raggiungimento del valore limite (margine toll.) |
| Monossido di Carbonio (CO) | Valore limite per la protezione della salute umana (DM 60/02) | Media massima giornaliera su 8 ore (medie mobili calcolate in base a dati orari e aggiornate ogni ora) | 16 mg/m³ | 1/1/2001: 16 mg/m ³ 1/1/2002: 16 mg/m ³ 1/1/2003: 14 mg/m ³ 1/1/2004: 12 mg/m ³ 1/1/2005: 10 mg/m ³ |
| | Valore limite (DPCM 28/03/83) | Concentrazione media di 8 ore | 10 mg/m³ | Periodo di validità dei limiti attualmente previsti fino al 31/12/2004 |
| | Valore limite (DPCM 28/03/83) | Concentrazione media di 1 ora | 40 mg/m³ | |

Valori misurati

Tabella 1-8: Concentrazioni di CO misurate dalle stazioni di monitoraggio della rete di controllo dell'impianto di trattamento RSU di Ca' del Bue dal 1997 al 2002.

| CO | | | | |
|-------------|------|------------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Postazione | Anno | n° superamenti limite orario | n° superamenti conc. 8 h | n° superamenti media mobile 8 h |
| S. Giovanni | 1997 | 0 | 0 | 0 |
| | 1999 | 0 | 0 | 0 |
| | 2000 | 0 | 0 | 0 |
| | 2001 | 0 | 0 | 0 |
| | 2002 | 0 | 0 | 0 |
| S. Martino | 1997 | 0 | 0 | 0 |
| | 1998 | 0 | 0 | 0 |
| | 1999 | 0 | 0 | 0 |
| | 2000 | 0 | 0 | 0 |
| | 2001 | 0 | 0 | 0 |
| Ca' del Bue | 2002 | 0 | 0 | 0 |
| | 1999 | 0 | 0 | 0 |
| | 2000 | 0 | 0 | 0 |
| Matozze | 2001 | 0 | 0 | 0 |
| | 2002 | 0 | 0 | 0 |

I valori relativi alle concentrazioni di monossido di carbonio registrati dalle stazioni automatiche risultano sostanzialmente allineati sia se confrontati tra le diverse postazioni sia se confrontati tra diversi anni; inoltre dall'analisi della Tabella 1-8 si nota che mai si sono verificati superamenti dei valori di riferimento.

1.3.4 Polveri totali sospese – PTS

Adempimenti normativi

Tabella 1-9

| Tipo di esposizione: ESPOSIZIONE CRONICA | | | | |
|--|-------------------------------|--|---------------------------|---|
| Parametro | Tipo di limite | Periodo di mediazione | Valore limite per il 2002 | Periodo di validità dei limiti attualmente previsti |
| PTS | Valore limite (DPCM 28/03/83) | Media aritmetica di tutte le concentrazioni medie di 24 ore rilevate nell'arco di 1 anno | 150 µg/m ³ | Fino al 31/12/2004 |
| | Valore limite (DPCM 28/03/83) | 95° percentile di tutte le concentrazioni medie di 24 ore rilevate nell'arco di 1 anno | 300 µg/m ³ | Fino al 31/12/2004 |

Valori misurati

Tabella 1-10: Concentrazioni di PTS misurate dalle stazioni di monitoraggio della rete di controllo dell'impianto di trattamento RSU di Ca' del Bue dal 1997 al 2002.

| PTS | | | |
|-------------|------|--|---|
| Postazione | Anno | Media concentrazioni medie 24 h (µg/m ³) | 95° percentile concentrazioni medie 24 h (µg/m ³) |
| S. Giovanni | 1997 | 42 | 99 |
| | 1999 | 74 | 161 |
| | 2000 | 60 | 135 |
| | 2001 | 63 | 127 |
| | 2002 | 59 | 145 |
| S. Martino | 1997 | 62 | 87 |
| | 1998 | 64 | 116 |
| | 1999 | 53 | 99 |
| | 2000 | 45 | 87 |
| | 2001 | 45 | 88 |
| Ca' del Bue | 2002 | 72 | 112 |
| | 1999 | 66 | 141 |
| | 2000 | 50 | 129 |
| | 2001 | 65 | 130 |
| | 2002 | 67 | 150 |
| Matozze | 1999 | 48 | 172 |
| | 2000 | 52 | 127 |
| | 2001 | 54 | 123 |
| | 2002 | 61 | 162 |

Figura 1-4: Giorno tipo delle concentrazioni di PTS – San Giovanni: anni 1997-2002.

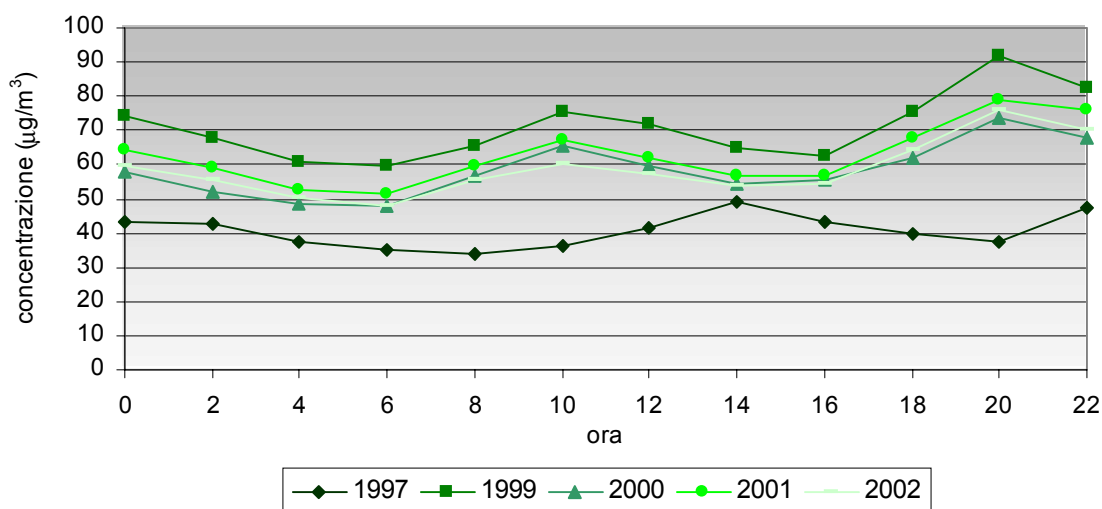
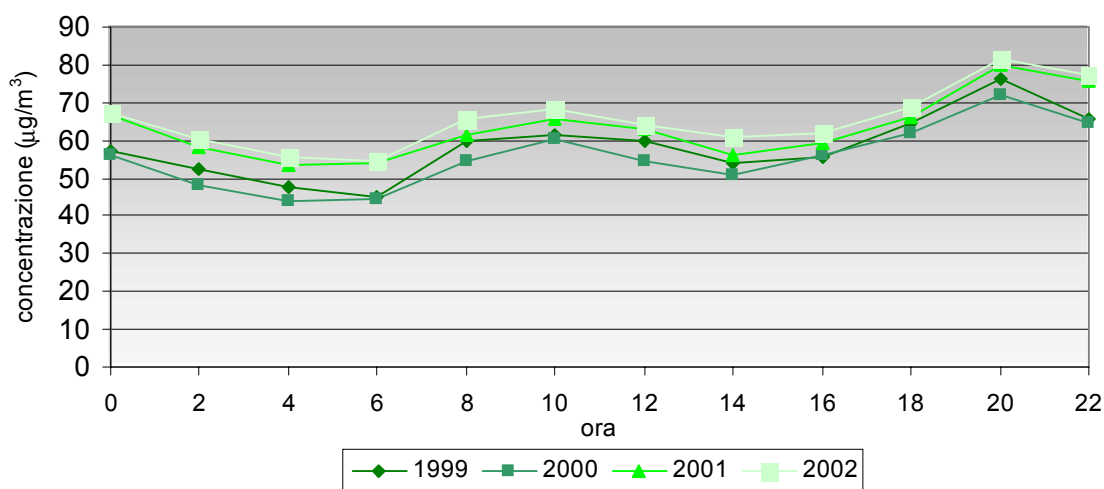
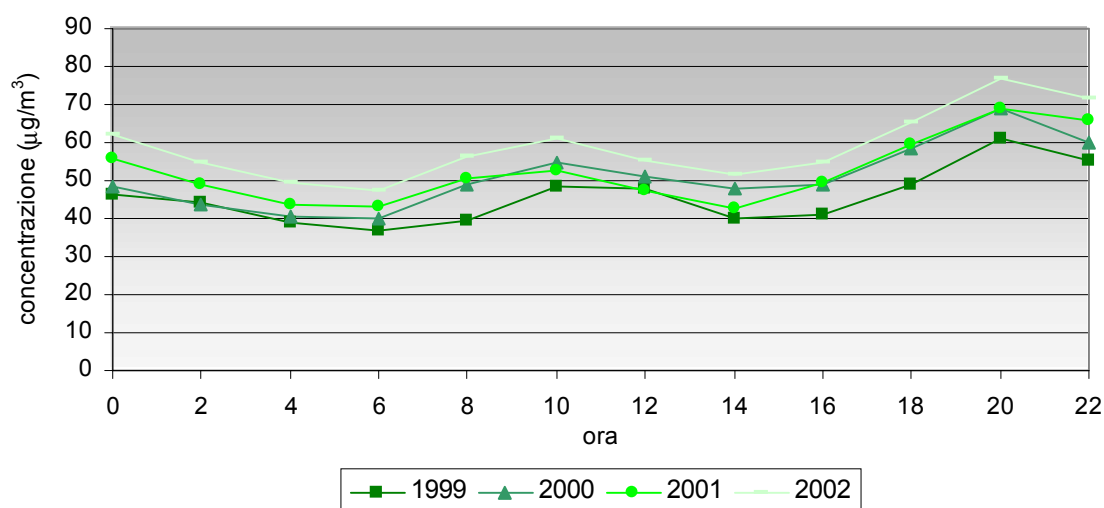


Figura 1-5: Giorno tipo delle concentrazioni di PTS – Ca' del Bue: anni 1999-2002.**Figura 1-6:** Giorno tipo delle concentrazioni di PTS – Matozze: anni 1999-2002.

I grafici riportati nelle Figura 1-4 - Figura 1-6 evidenziano gli andamenti orari giornalieri delle concentrazioni di PTS, espressi tramite il valore medio delle concentrazioni riferite alla medesima ora del giorno (giorno tipo), misurati presso le stazioni automatiche di San Giovanni Lupatoto, Ca' del Bue e Matozze negli anni riportati nella Tabella 1-10.

I valori di concentrazione delle particelle totali sospese, registrati dalle stazioni automatiche della rete di monitoraggio risultano, nel complesso, sostanzialmente allineati e ampiamente inferiori ai valori limite previsti dalla normativa. Tuttavia, si nota che le concentrazioni mediamente più ridotte sono state registrate nella postazione di Matozze.

1.3.5 Ozono – O₃

Adempimenti normativi

Tabella 1-11

| Tipo di esposizione: ESPOSIZIONE ACUTA | | | | |
|--|---|---|-----------------------|---|
| Parametro | Tipo di limite | Periodo di mediazione | Valore limite | Periodo di validità dei limiti attualmente previsti |
| Ozono (O ₃) | Livello di attenzione (DM 25/11/94) | Concentrazione media di 1 ora | 180 µg/m ³ | Fino al recepimento della direttiva 2002/3/CE |
| | Livello di allarme (DM 25/11/94) | Concentrazione media di 1 ora | 360 µg/m ³ | Fino al recepimento della direttiva 2002/3/CE |
| | Livello Protezione Salute (DM 16/05/96) | Concentrazione media di 8 ore | 110 µg/m ³ | Fino al recepimento della direttiva 2002/3/CE |
| | Valore limite (DPCM 28/03/83) | Concentrazione media di 1 ora da non raggiungere più di una volta al mese | 200 µg/m ³ | Fino al recepimento della direttiva 2002/3/CE |
| Tipo di esposizione: PROTEZIONE DEGLI ECOSISTEMI | | | | |
| Ozono (O ₃) | Livello Prot. Veg. (DM 16/05/96) | Media oraria | 200 µg/m ³ | Periodo di validità dei limiti attualmente previsti |
| | Livello Prot. Veg. (DM 16/05/96) | Media delle 24 ore | 65 µg/m ³ | Fino al recepimento della direttiva 2002/3/CE |

Valori misurati

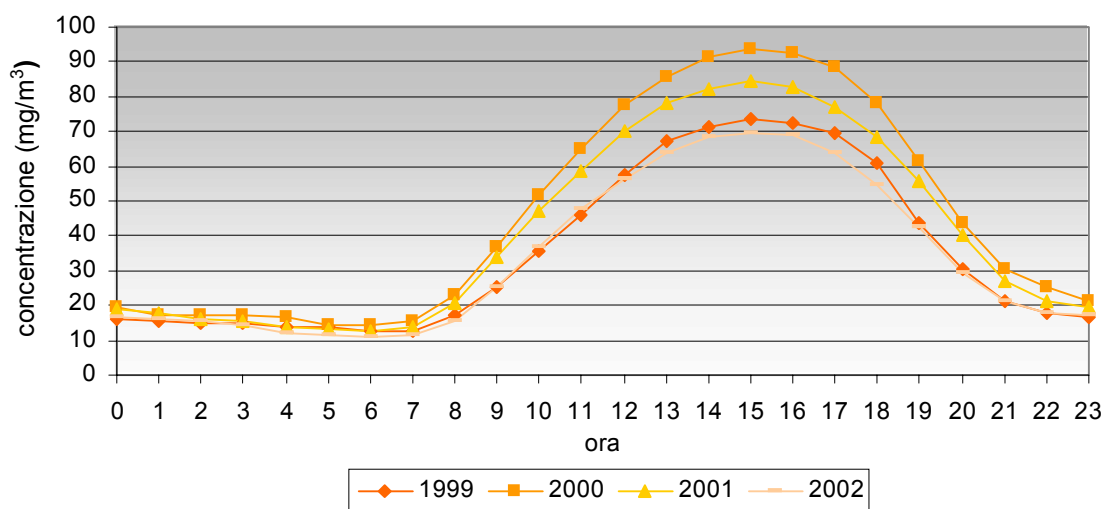
Tabella 1-12: Concentrazioni di O₃ misurate dalle stazioni di monitoraggio della rete di controllo dell'impianto di trattamento RSU di Ca' del Bue dal 1997 al 2002.

| O ₃ | | | | | | |
|----------------|------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------|---|
| Postazione | Anno | n° super. livello di attenzione | n° super. livello di allarme | n. super. livelli protezione salute | n. super. media oraria | n. super media 24 h protezione ecosistemi |
| S. Giovanni | 1997 | 104 | 0 | 77 | 41 | 94 |
| | 1999 | 1 | 0 | 6 | 0 | 24 |
| S. Martino | 2000 | 0 | 0 | 4 | 0 | 30 |
| | 2001 | 8 | 0 | 18 | 5 | 42 |
| | 2002 | 1 | 0 | 8 | 0 | 35 |
| Ca' del Bue | 1999 | 44 | 0 | 34 | 23 | 45 |
| | 2000 | 120 | 0 | 94 | 29 | 101 |
| | 2001 | 80 | 0 | 91 | 23 | 92 |
| | 2002 | 0 | 0 | 17 | 0 | 47 |

La stazione automatica di Matozze non è attrezzata per rilevare le concentrazioni di Ozono; la stazione di S. Martino Buon Albergo è stata attrezzata a partire da giugno 1998 quando l'analizzatore è stato rimosso dalla stazione di S. Giovanni Lupatoto.

Per quanto riguarda l'ozono si nota che sono stati registrati alcuni superamenti dei diversi valori di riferimento previsti dalla normativa (tranne il livello di allarme); tali superamenti si sono registrati tutti nel periodo tra aprile e settembre. Infatti l'ozono è un inquinante secondario e come tale non è prodotto direttamente dall'attività dell'uomo ma è originato dalle reazioni fotochimiche degli inquinanti primari. Per questo motivo, durante il periodo primaverile-estivo le particolari condizioni di alta pressione, elevata temperatura e ridotta ventilazione favoriscono l'accumulo di questo inquinante; inoltre il forte irraggiamento solare innesca una serie di reazioni fotochimiche che determinano concentrazioni di ozono più elevate rispetto al livello naturale.

Il grafico riportato nella Figura 1-7 evidenzia gli andamenti orari giornalieri delle concentrazioni di O₃, espressi tramite il valore medio delle concentrazioni riferite alla medesima ora del giorno (giorno tipo), misurati presso la stazione automatica di Ca' del Bue negli anni riportati nella Tabella 1-12.

Figura 1-7: Giornata tipo delle concentrazioni di O₃ – Ca' del Bue: anni 1999-2002.

1.4 La dispersione degli inquinanti in aria

1.4.1 La normativa relativa alle emissioni

Il D.M. 19 novembre 1997, n. 503 'Regolamento recante norme per l'attuazione delle direttive 89/369/CEE e 89/429/CEE concernenti la prevenzione dell'inquinamento atmosferico provocato dagli impianti di incenerimento dei rifiuti urbani e la disciplina delle emissioni e delle condizioni di combustione degli impianti di incenerimento di rifiuti urbani, di rifiuti speciali non pericolosi, nonché di taluni rifiuti sanitari', disciplina le emissioni e le condizioni di combustione degli impianti di incenerimento di rifiuti urbani come quello di Ca' del Bue.

A tal fine stabilisce:

- i valori limite di emissione;
- metodi di campionamento, analisi e valutazione degli inquinanti;
- i criteri temporali di adeguamento;
- i criteri e le norme tecniche generali riguardanti le caratteristiche costruttive e funzionali.

Il decreto fissa due tabelle di limiti, quella contenuta nell'allegato 1 (per gli impianti autorizzati successivamente alla data di entrata in vigore del decreto stesso) e quella contenuta nell'allegato 2 (per gli impianti autorizzati precedentemente). Il decreto stabilisce inoltre che gli impianti di 'vecchia' autorizzazione debbano presentare all'autorità competente un piano di adeguamento delle emissioni ai limiti dell'allegato 1 entro un anno dall'entrata in vigore del decreto stesso.

Dal momento che l'impianto di Ca' del Bue rientra tra gli impianti di 'vecchia' autorizzazione, l'AGSM ha presentato all'autorità di controllo un piano di adeguamento che prevede un periodo di sperimentazione durante il quale dovranno essere rispettati i limiti previsti dall'allegato 2 e un progetto esecutivo per rientrare, in fase di regime, nei limiti previsti dall'allegato 1.

A causa di alcune vicissitudini che hanno portato all'attivazione dell'impianto con molto ritardo rispetto ai tempi originariamente previsti sono state concesse ad AGSM alcune proroghe per poter permettere le operazioni di messa in marcia dell'impianto e per poter effettuare il collaudo. Il 10.12.01 la Regione Veneto ha concesso una prima proroga fino al 30.06.03 e poi una fino al 30.06.04 per l'adeguamento delle emissioni in atmosfera dell'impianto ai limiti previsti nell'allegato 1 al DM n. 503 del 1997 (e una proroga anche per l'utilizzo di CDR fino al 30.06.04). Anche la Provincia di Verona ha concesso due successive proroghe per permettere il completamento delle operazioni di collaudo entro il 30.06.04.

Dai risultati delle prove di funzionamento forniti, si può notare che le concentrazioni finora rilevate rispettano tutti i parametri dell'allegato 1 al DM 503/97 tranne che per gli ossidi di azoto (NO_x); occasionalmente sono stati rilevati superamenti anche per il parametro HCl.

In Tabella 1-13 sono riassunti i limiti di emissione previsti dal decreto 503/97.

Tabella 1-13: Limiti di emissione previsti dal decreto 503/97.

| Parametro | Limiti di emissione previsti dal decreto 503/97 | | | | |
|--|---|---|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Misurazioni in continuo | | | Misurazioni periodiche | |
| | Allegato 1 | | Allegato 2 | Allegato 1 | Allegato 2 |
| | Media oraria (mg/Nm ³) | Media giornaliera (mg/Nm ³) | Media oraria (mg/Nm ³) | Media oraria (mg/Nm ³) | Media oraria (mg/Nm ³) |
| Polveri | 30 | 10 | 30 | | |
| HCl | 40 | 20 | 50 | | |
| HF | 4 | 1 | 2 | | |
| SO ₂ | 200 | 100 | 300 | | |
| NO ₂ | 400 | 200 | | | |
| NO ₂ + SO ₂ | | | 600 | | |
| CO | 100 | 50 | 100 | | |
| COT | 20 | 10 | 20 | | |
| Cd + TI | | | | 0.05 | |
| Hg | | | | 0.05 | |
| Cd + TI + Hg | | | | | 0.2 |
| Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V + Sn | | | | 0.5 | |
| Sb + Pb+ Cr(III) + Cu + Mn+ V + Sn | | | | | 5 |
| Cr(IV) + Co + Ni+ As | | | | | 1 |
| PCDD + PCDF | | | | 0.0000001 | 0.004 |
| IPA | | | | 0.001 | |

1.4.2 Caratteristiche dei camini

I dati forniti da AGSM Verona relative ai camini sono riportati in Tabella 1-14.

Tabella 1-14: Dati relativi ai camini dell'impianto.

| N. camino | Descrizione | Altezza (m) | Diametro (m) |
|-----------|---|-------------|--------------|
| 1 – 2 | Trattamento fumi per inceneritore | 60 | 1.5 |
| 3 | Turbogas | 45 | 2.6 |
| 4 | Caldaia di integrazione/riserva per impianto di teleriscaldamento | 40 | 1.07 |
| 5 - 6 - 7 | Motori a gas | 40 | 0.5 |
| 8 | Caldaia di emergenza riscaldamento | 20 | 0.3 |
| 9 | Caldaia di integrazione del calore per essiccamento dei fanghi | 20 | 0.5 |
| 10 | Torcia del biogas | 20 | 0.3 |

1.4.3 Studio modellistico

In questo paragrafo vengono riportati i risultati dello studio modellistico, effettuato da ARPAV – DAP VR, delle ricadute (concentrazioni di inquinanti) provocate dalle emissioni dell'impianto e dall'autostrada.

La valutazione modellistica delle ricadute provocate dalle emissioni dell'impianto è stata eseguita considerando:

- le emissioni relative al periodo compreso tra la metà di gennaio e la fine di maggio 2003;
- un solo camino funzionante.

Infatti, nel periodo considerato i forni dell'impianto hanno funzionato in modo quasi costante e continuativo (tranne un periodo di inutilizzo in aprile) ma in modo alternativo.

Le emissioni vengono misurate in modo continuo da AGSM Verona e trasmesse ad ARPAV giornalmente attraverso un bollettino sintetico riepilogativo. In Tabella 1-15 sono riportate le emissioni medie emesse dall'impianto nel periodo considerato.

Tabella 1-15: valori medi di emissione considerati nello studio modellistico.

| inquinante | emissioni media (mg/m ³) nel periodo considerato |
|------------------------------|---|
| CO | 0.89 |
| NOx (come NO ₂) | 303.86 |
| SO ₂ | 1.75 |
| HCl | 10.39 |
| HF | 0.36 |
| Polveri | 1.48 |
| Caratteristiche di emissione | emissioni media (mg/m ³) nel periodo considerato |
| Portata fumi (vol.) | 86309.46 |
| Temperatura fumi | 135.78 |
| Pressione | 1020.39 |

Per la realizzazione delle simulazioni modellistiche è stato utilizzato il modello di valutazione della dispersione di inquinanti ADMS-URBAN della CERC.

ADMS-Urban è utilizzato per calcolare la dispersione degli inquinanti presenti nell'atmosfera delle aree urbane ed emessi da fonti di tipo industriale, domestico e automobilistico. ADMS-Urban stima queste fonti inquinanti tramite modelli d'emissione puntiformi, lineari, superficiali, volumetrici e a griglia.

Una importante differenza tra ADMS-Urban ed altri modelli di dispersione in aria in zone urbane è l'utilizzo da parte di questo di un approccio teorico molto evoluto basato su una caratterizzazione dello strato limite planetario (PBL) attraverso l'altezza di rimescolamento e la lunghezza di Monin-Obukhov. Gli altri modelli, invece, caratterizzano il PBL in modo meno dettagliato tramite il parametro di stabilità di Pasquill.

Negli approcci più recenti la struttura del PBL è definita in termini di parametri fisici misurabili che permettono una rappresentazione realistica dei cambiamenti della dispersione in funzione dell'altezza. I dati meteorologici utilizzati come dati di input al modello sono quelli rilevati dalla stazione automatica meteorologica 'Torre Telecom' (gestita da ARPAV dal 1 gennaio 2000) localizzata in prossimità della frazione di S. Michele Extra nella periferia a nord/est del centro urbano di Verona.

Lo studio modellistico è stato eseguito suddividendo il periodo di funzionamento in due parti: la prima rappresentativa del periodo invernale: da gennaio a marzo (3 mesi) e la seconda rappresentativa del periodo estivo: maggio (1 mese); si ricorda che in aprile l'impianto non ha funzionato.

A titolo di esempio delle valutazioni eseguite, nelle Figura 1-8, Figura 1-9 e Figura 1-10 sono evidenziate rispettivamente le concentrazioni medie giornaliere di NO₂, CO e PTS relative al periodo invernale. Si evince che il punto di massima ricaduta, nel periodo considerato, per tutti e 3 gli inquinanti è localizzato in direzione Nord, a ridosso dell'autostrada. Le concentrazioni massime rilevabili, per ogni inquinante, sono riassunte in Tabella 1-16.

Tabella 1-16: concentrazioni massime, per ogni inquinante, calcolate nella simulazione modellistica a partire dai valori di emissione ai camini.

| inquinante | Concentrazioni massime giornaliere (µg/m ³) |
|-----------------|---|
| NO ₂ | 3 |
| CO | 0.008 |
| PTS | 0.024 |

Confrontando i valori riportati in Tabella 1-16 con quelli riportati nelle Tabella 1-4, Tabella 1-6, Tabella 1-8, Tabella 1-10 e Tabella 1-12 si evidenzia come l'aumento delle concentrazioni dovuto alle emissioni dell'impianto di Ca' del Bue sia così ridotto da non poter nemmeno essere rilevato dagli analizzatori delle stazioni automatiche.

Figura 1-8: Mappa della concentrazione media giornaliera di NO_2 emessa dall'impianto di Ca' del Bue, ottenuta con il modello di dispersione ADMS-URBAN. Periodo di riferimento gennaio-marzo 2003.

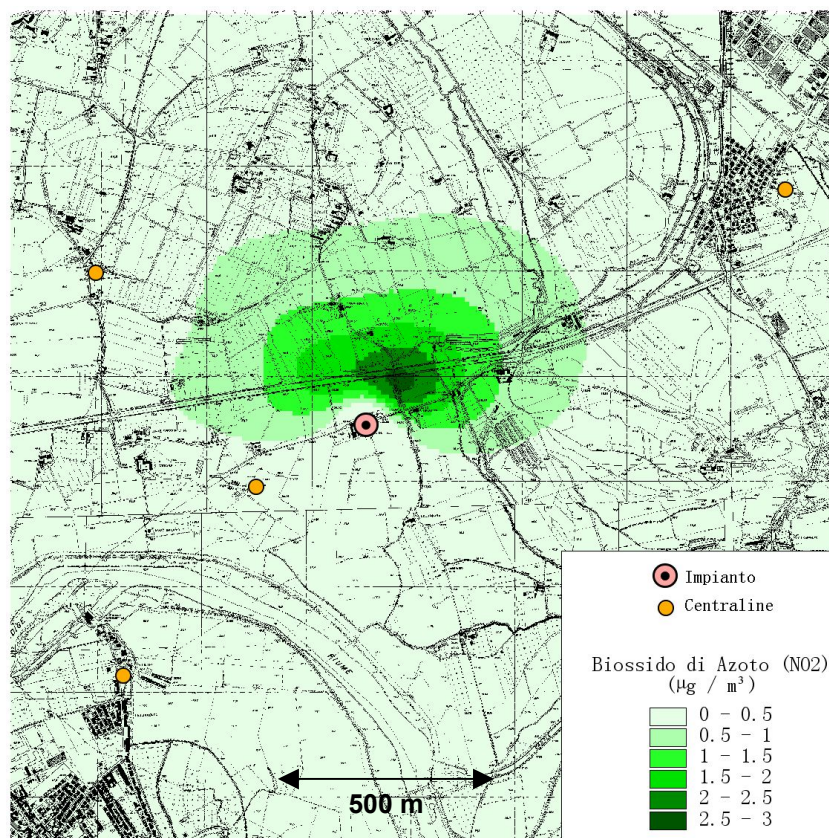


Figura 1-9: Mappa della concentrazione media giornaliera di CO emesse dall'impianto di Ca' del Bue, ottenuta con il modello di dispersione ADMS-URBAN. Periodo di riferimento gennaio-marzo 2003.

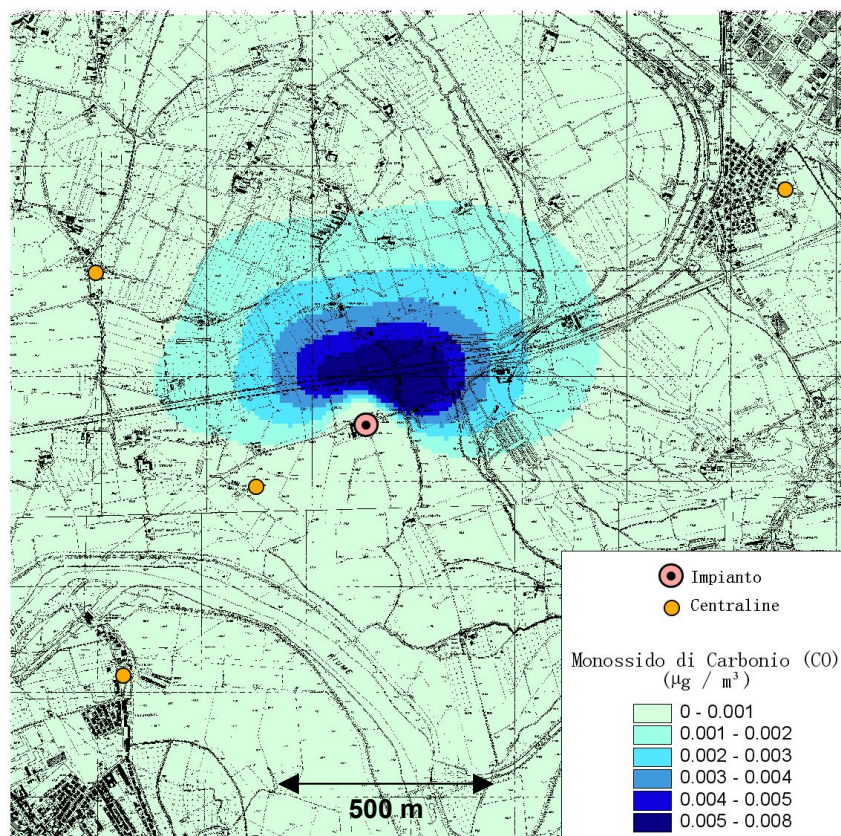
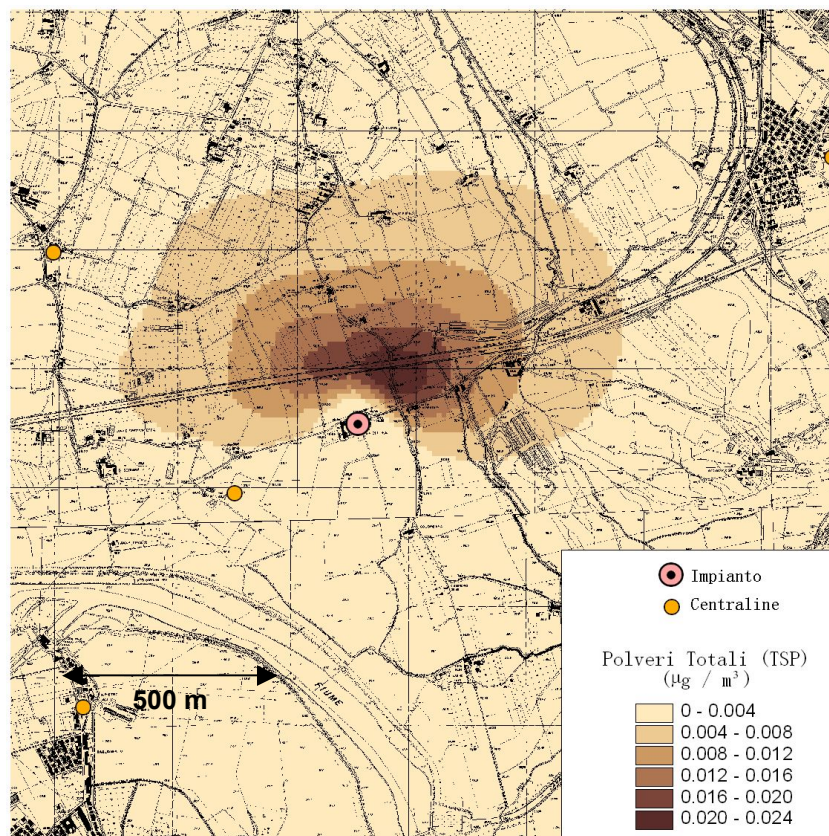


Figura 1-10: : Mappa della concentrazione media giornaliera di PTS emesse dall'impianto di Ca' del Bue, ottenuta con il modello di dispersione ADMS-URBAN. Periodo di riferimento gennaio-marzo 2003.



ARPAV ha eseguito, inoltre, uno studio modellistico al fine di verificare l'impatto dell'autostrada e confrontare successivamente l'inquinamento prodotto dal traffico autostradale considerando i flussi di traffico in prossimità dell'impianto nel tratto compreso tra Verona Est e il comune di San Martino Buon Albergo con quello causato dall'impianto di incenerimento di Ca' del Bue.

I dati di traffico (valori medi giornalieri feriali) utilizzati sono stati forniti dalla Società Autostrade e le valutazioni modellistiche sono state eseguite considerando gli stessi parametri utilizzati in quelle relative all'impianto: periodo di funzionamento suddiviso in due parti: la prima rappresentativa del periodo invernale e la seconda rappresentativa del periodo estivo e calcolo delle concentrazioni medie giornaliere di NO_2 , CO e PM_{10} .

Nelle Figura 1-11, Figura 1-12 e Figura 1-13 si evidenziano rispettivamente le concentrazioni medie giornaliere di NO_2 , CO e PTS dovute al traffico autostradale e relative al periodo invernale.

Le concentrazioni massime, calcolate per ogni inquinante a 2 m sul livello del suolo, sono riassunte in Tabella 1-17. I valori di concentrazione sono stati calcolati considerando il valore medio giornaliero di traffico nel tratto autostradale Verona Est - Soave relativo ai giorni feriali del periodo invernale (giorno tipo invernale) corrispondente a 33787 veicoli leggeri e 15896 veicoli pesanti.

Tabella 1-17: Concentrazioni massime calcolate, per ogni inquinante a 2 m s.l.s., nella simulazione modellistica prodotte dall'autostrada.

| inquinante | Concentrazioni massime giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|------------------|---|
| NO_2 | 250 |
| CO | 900 |
| PM_{10} | 45 |

Considerando le condizioni climatiche relative all'inverno 2002-2003 i valori massimi di biossido di azoto ($250 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si registrano, ovviamente, nelle immediate vicinanze del tratto autostradale ma a distanze di circa 700 m nella direzione prevalente del vento e 250 m in direzione opposta si calcolano valori ancora abbastanza elevati: $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Per quanto riguarda il monossido di carbonio, valori di concentrazioni di circa $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ si registrano fino a distanze di circa 250 m nella direzione del vento e di circa 100 m in direzione opposta.

Figura 1-11: Mappa della concentrazione media giornaliera di NO_2 prodotta dall'autostrada A4, ottenuta con il modello di dispersione ADMS-URBAN. Periodo di riferimento gennaio-marzo 2003.

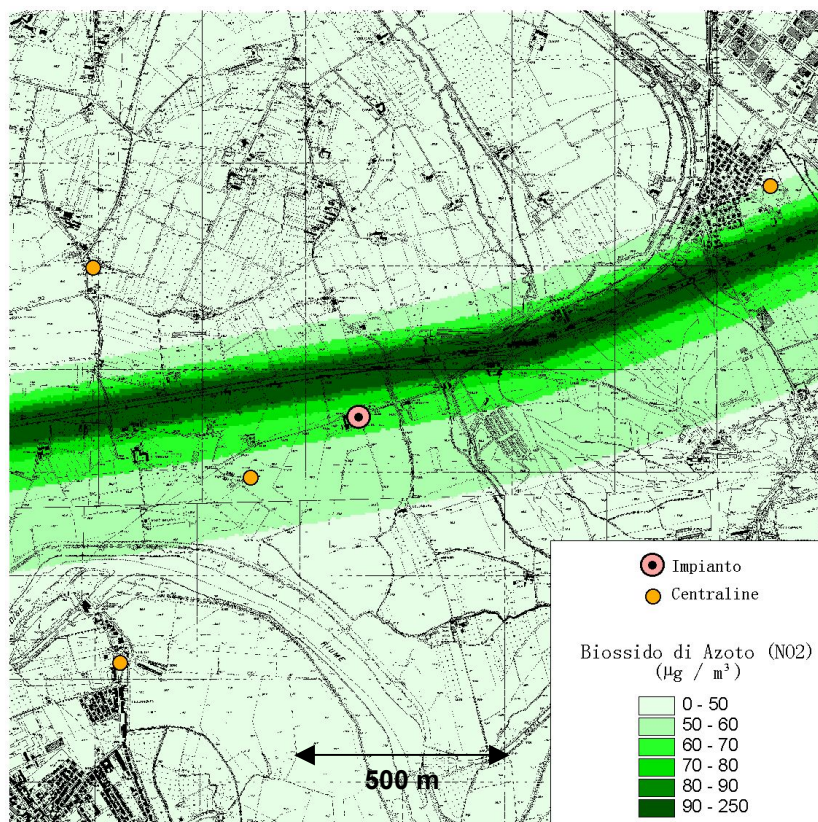


Figura 1-12: Mappa della concentrazione media giornaliera di CO prodotta dall'autostrada A4, ottenuta con il modello di dispersione ADMS-URBAN. Periodo di riferimento gennaio-marzo 2003.

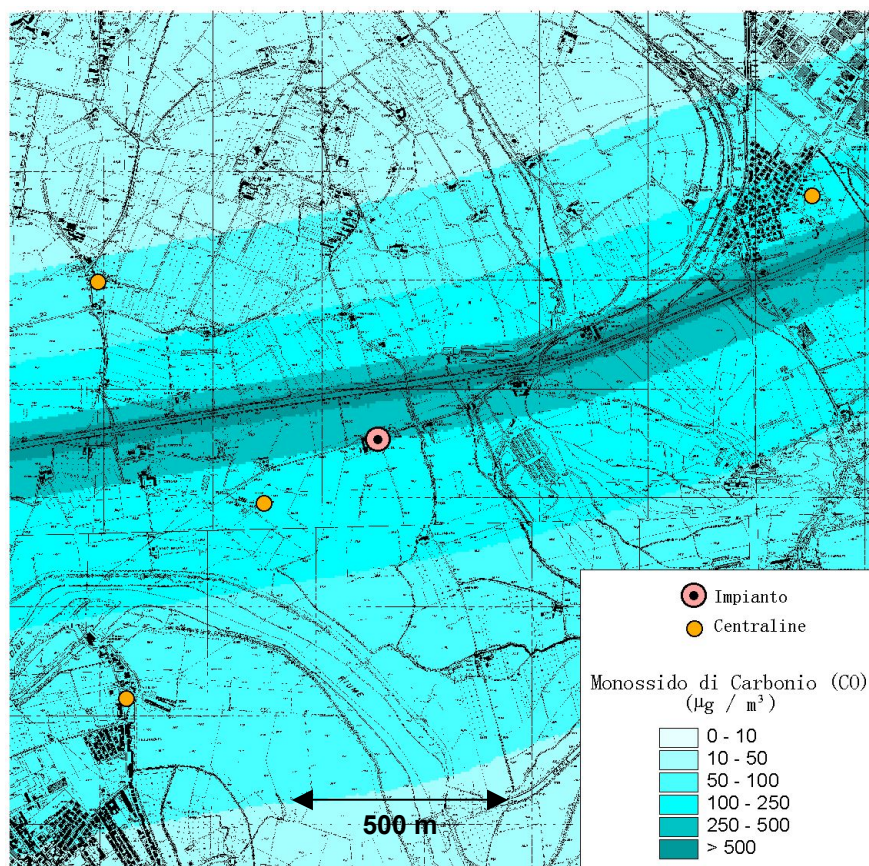
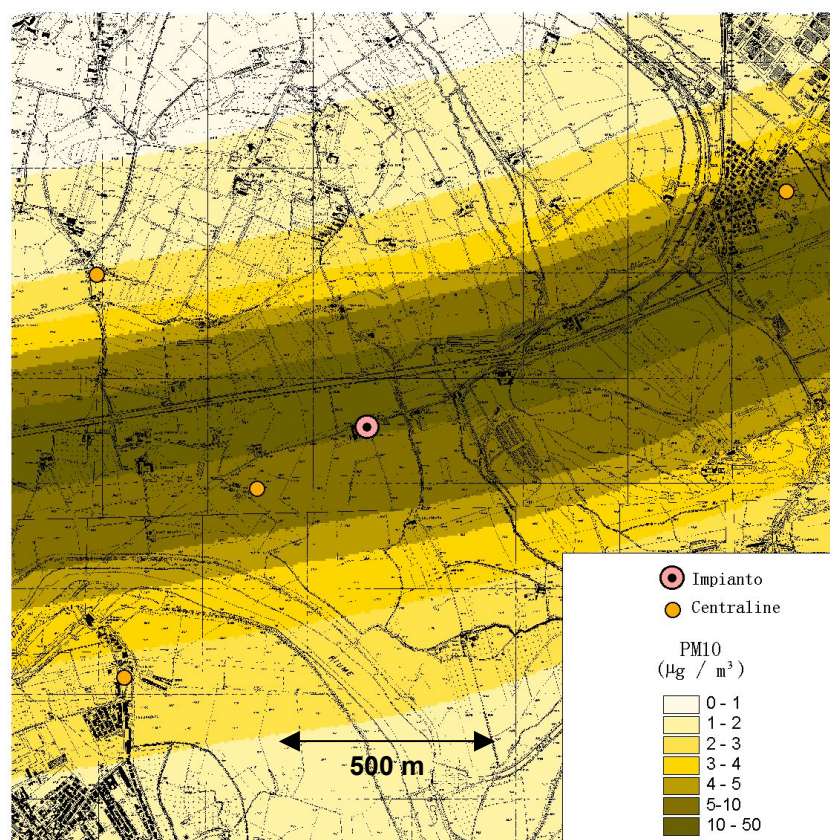


Figura 1-13: Mappa della concentrazione media giornaliera di PM₁₀ prodotta dall'autostrada A4, ottenuta con il modello di dispersione ADMS-URBAN. Periodo di riferimento gennaio-marzo 2003.



Il contributo di PM₁₀ primario rimane consistente, cioè maggiore di 10 µg/m³, fino a 250 m di distanza dall'autostrada nelle direzioni del vento e fino a 100 m nella direzione opposta.

In Tabella 1-18 sono confrontati i valori delle concentrazioni misurate dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria con i valori di concentrazione dovute alle emissioni dell'impianto e dovute all'autostrada calcolate dal modello nei punti in cui sono posizionate le centraline. Il periodo considerato è quello invernale (gennaio – marzo 03).

Tabella 1-18: Confronto tra le concentrazioni medie giornaliere misurate dalle stazioni della rete di monitoraggio e i valori di concentrazione prodotti dalle ricadute delle emissioni di Ca' del Bue e quelli prodotti dal traffico autostradale calcolati dal modello nei punti in cui sono posizionate le centraline e nello stesso periodo.

| Postazione | Inquinante | Concentrazione misurata dalle centraline (µg/m ³) | Concentrazione prodotta dall'impianto calcolata dal modello nel punto in cui sono posizionate le centraline (µg/m ³) | Concentrazione prodotta dall'autostrada calcolata dal modello nel punto in cui sono posizionate le centraline (µg/m ³) |
|-------------|------------------------|---|--|--|
| S. Giovanni | NO ₂ | 56 | 18.1 | 44.7 |
| | CO | 800 | 0.5 | 71.6 |
| | PTS / PM ₁₀ | 94 | 1.85 * 10 ⁻³ | 3.23 |
| S. Martino | NO ₂ | 61 | 18.2 | 50.8 |
| | CO | 1000 | 0.5 | 148 |
| | PTS / PM ₁₀ | - | 8.28 * 10 ⁻⁴ | 6.78 |
| Ca' del Bue | NO ₂ | 62 | 18.2 | 56.3 |
| | CO | 800 | 0.5 | 174 |
| | PTS / PM ₁₀ | 108 | 2.14 * 10 ⁻³ | 7.85 |
| Matozze | NO ₂ | 53 | 18.3 | 38.2 |
| | CO | 1300 | 0.5 | 59.7 |
| | PTS / PM ₁₀ | 91 | 2.65 * 10 ⁻³ | 2.69 |

Dal confronto dei valori riportati in Tabella 1-18 risulta evidente che, per tutti gli inquinanti indicati, il contributo dovuto all'impianto di trattamento RSU di Ca' del Bue risulta ridotto sia rispetto ai valori registrati dalle reti di monitoraggio della qualità dell'aria e sia rispetto al contributo fornito dall'autostrada. A tale proposito occorre però ricordare che in tutte le simulazioni modellistiche è stato considerato attivo e funzionante solo uno dei due forni.

Confrontando i valori di concentrazione di biossido di azoto registrati dalle quattro stazioni automatiche con quelli calcolati dal modello risulta evidente che il maggior contributo è dovuto al traffico autostradale. Anche nel caso del monossido di carbonio il contributo relativo all'autostrada risulta notevole ma in questo caso si nota che i valori registrati dalle centraline risentono anche dell'influenza di altri fattori non considerati in questo lavoro, per esempio il contributo di sorgenti industriali e degli impianti di riscaldamento domestico. Inoltre è importante sottolineare il fatto che il CO presenta variazioni molto rapide nel tempo e nello spazio.

I valori di PM_{10} calcolati dal modello sono così ridotti perché le valutazioni modellistiche sono state eseguite considerando solo una parte della componente primaria rispettivamente emissione dell'inceneritore e traffico stradale, e non la componente secondaria.

1.5 Valutazione di impatto acustico

Arpav ha effettuato un'indagine strumentale finalizzata alla valutazione dell'impatto acustico delle emissioni sonore prodotte dal funzionamento dell'impianto di trattamento RSU di Ca' del Bue.

L'indagine strumentale eseguita con rilevazioni strumentali su lungo periodo (monitoraggi temporali) si proponeva il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

1. rilevare il livello sonoro di immissione comprensivo del rumore prodotto dall'attività oggetto di indagine;
2. confrontare i livelli sonori misurati con i livelli sonori rilevati nel corso della precedente indagine effettuata nel 1999 con l'impianto non in attività;
3. rapportare i livelli sonori misurati ai limiti di riferimento assoluti previsti dalla normativa vigente.

1.5.1 La normativa

Per quanto riguarda le disposizioni di legge si fa riferimento a:

- Legge n° 447/95 "Legge quadro sull'inquinamento acustico";
- D.P.C.M. 14/11/1997 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore";
- D.M.A. 16/3/1998 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico";
- D.M.A. 11/12/1996 "Applicazione del criterio differenziale per gli impianti a ciclo produttivo continuo";
- Piano di Classificazione acustica adottato dal Comune di Verona con Delibera di Consiglio Comunale n° 108 del 13/11/1998.

1.5.2 Termini tecnici di riferimento

Si riportano, di seguito, i termini tecnici e le definizioni delle grandezze fisiche utilizzate nei paragrafi successivi:

- **L_{Aeq}** : valore del livello continuo equivalente ponderato A. Per livello equivalente si intende il livello sonoro stazionario che in un dato periodo di tempo contiene la stessa quantità di energia del segnale sonoro variabile nel tempo;
- **A**: curva di ponderazione in frequenza del segnale sonoro che simula la risposta uditiva dell'orecchio umano;
- **Tempo di riferimento (T_R)**: rappresenta il periodo della giornata all'interno del quale si eseguono le misure. La durata della giornata è articolata in due tempi di riferimento: quello diurno compreso tra le ore 6.00 e le ore 22.00 e quello notturno compreso tra le ore 22.00 e le ore 6.00;
- **Tempo di osservazione (T_O)**: è un periodo di tempo compreso in T_R nel quale si verificano le condizioni di rumorosità che si intendono valutare;
- **Tempo di misura (T_M)**: all'interno di ciascun tempo di osservazione, si individuano uno o più tempi di misura (T_M) di durata pari o minore del tempo di osservazione, in funzione delle caratteristiche di variabilità del rumore ed in modo tale che la misura sia rappresentativa del fenomeno;
- **Livello di rumore ambientale (L_A)**: è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato "A", prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo e durante un determinato tempo. Il rumore ambientale è costituito dall'insieme del rumore residuo e da

quello prodotto dalle specifiche sorgenti disturbanti, con l'esclusione degli eventi sonori singolarmente identificabili di natura eccezionale rispetto al valore ambientale della zona. E' il livello che si confronta con i limiti massimi di esposizione: nel caso dei limiti differenziali, è riferito a T_M , nel caso di limiti assoluti è riferito a T_R ;

- **Livello di rumore residuo (L_R):** è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato "A", che si rileva quando si esclude la specifica sorgente disturbante. Deve essere misurato con le identiche modalità impiegate per la misura del rumore ambientale e non deve contenere eventi sonori atipici;
- **Livello differenziale di rumore (L_D):** differenza tra livello di rumore ambientale (L_A) e quello di rumore residuo (L_R);
- **Livello di immissione:** è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato "A" dovuto all'insieme delle sorgenti sonore che in quel punto svolgono i propri effetti acustici, che si confronta con i limiti di immissione.

1.5.3 Inquadramento acustico e individuazione dei valori di riferimento

Il Comune di Verona dispone di piano di classificazione acustica definitivo redatto e adottato ai sensi della Legge 447/95 e relativi decreti applicativi.

In applicazione al piano di classificazione acustica il territorio risulta diviso in 6 zone acusticamente omogenee alle quali sono stati assegnati valori assoluti di emissione e immissione e valori differenziali di immissione.

In termini generali, la completa compatibilità acustica di una sorgente può essere dichiarata solo attraverso la verifica contemporanea sia dei valori assoluti di immissione e di emissione sia attraverso la verifica del limite differenziale di immissione.

In questo caso, in cui la sorgente oggetto di indagine è costituita da un impianto a ciclo produttivo continuo esistente (secondo la definizione contenuta nel DMA 11/12/1996), la determinazione della compatibilità acustica si limita alla verifica dei limiti assoluti di immissione in ambiente esterno e, se questi sono superati, alla conseguente verifica dei limiti differenziali di immissione all'interno di ambienti confinati.

Al fine di individuare correttamente i valori di riferimento ai quali rapportare i livelli strumentali sperimentalmente rilevati è necessario individuare le posizioni di misura.

I punti di misura, sono riportati Figura 1-14 e descritti come segue:

- Posizione 1: al confine presso la stazione fissa per il monitoraggio continuo della qualità dell'aria in prossimità del passo carraio e della zona di trattamento organico (Perimetro lato ingresso camion);
- Posizione 2: a filo facciata delle abitazioni site in Corte Stringara esposte al rumore della zona del ciclo termico (all'interno di corte Stringara);
- Posizione 3: al confine in prossimità dell'area agricola a Sud dell'impianto esposta al rumore della zona del ciclo termico (al perimetro lato area agricola).

Dalla ricognizione dei luoghi è stato possibile osservare che le posizioni di misura 2 e 3 sono particolarmente condizionate dal rumore di tipo stazionario e continuo attribuibile al funzionamento dei forni inceneritori inseriti nel ciclo termico.

Nella posizione 1 non è stata osservata la presenza di una sorgente importante in grado di condizionare acusticamente il punto di misura: il rumore rilevato è dato dalla somma del contributo acustico prodotto dal traffico veicolare delle infrastrutture stradali limitrofe, dal rumore prodotto dal traffico dei camion in arrivo e in partenza dall'impianto e dal rumore prodotto nella parte di impianto dedicata al trattamento organico.

In Figura 1-15 è visualizzato il piano di classificazione acustica relativo alla zona in cui è situato l'impianto di incenerimento RSU di Ca' del Bue².

L'area di pertinenza dell'impianto è classificata (dal vigente piano di classificazione acustica in classe VI (area di colore azzurro) mentre l'area di contorno sui quattro lati è classificata in classe III (colore arancio).

Il piano di classificazione acustica prevede tra la Classe VI e la Classe III una fascia di transizione (tratteggio obliquo bianco e rosso) che assume i limiti della Classe IV.

In Tabella 1-19 sono indicati i valori di riferimento e la classe acustica e per ogni posizione di misura.

² Comune di Verona: " Piano di classificazione acustica".

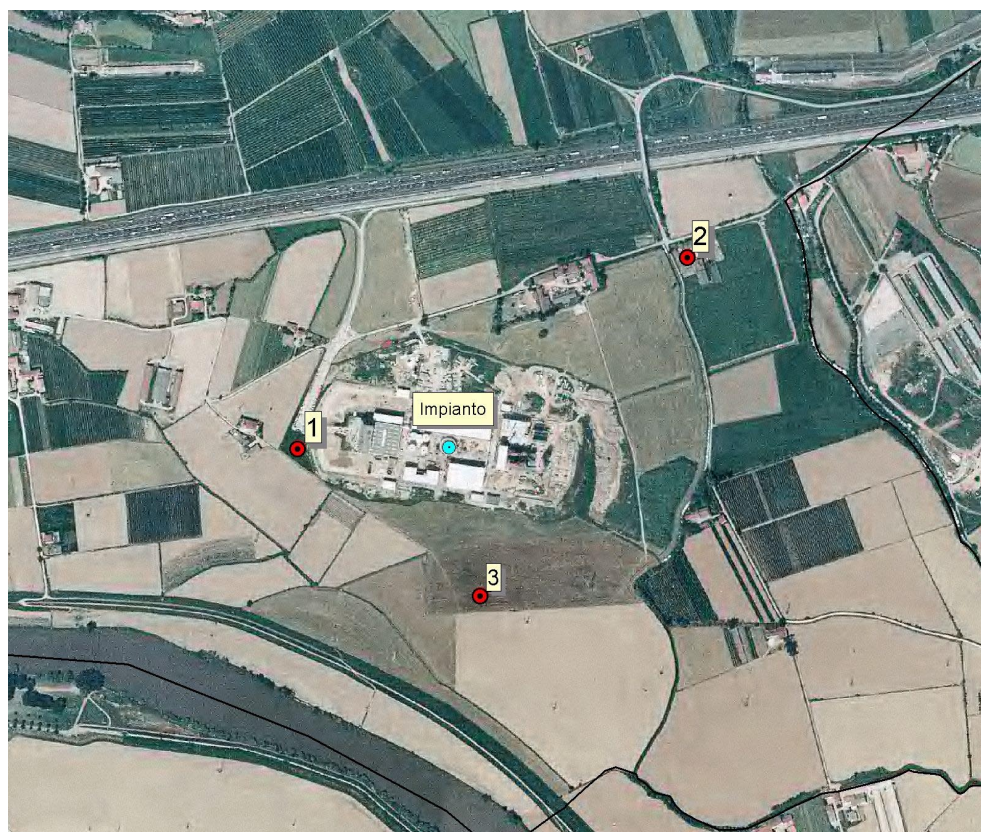
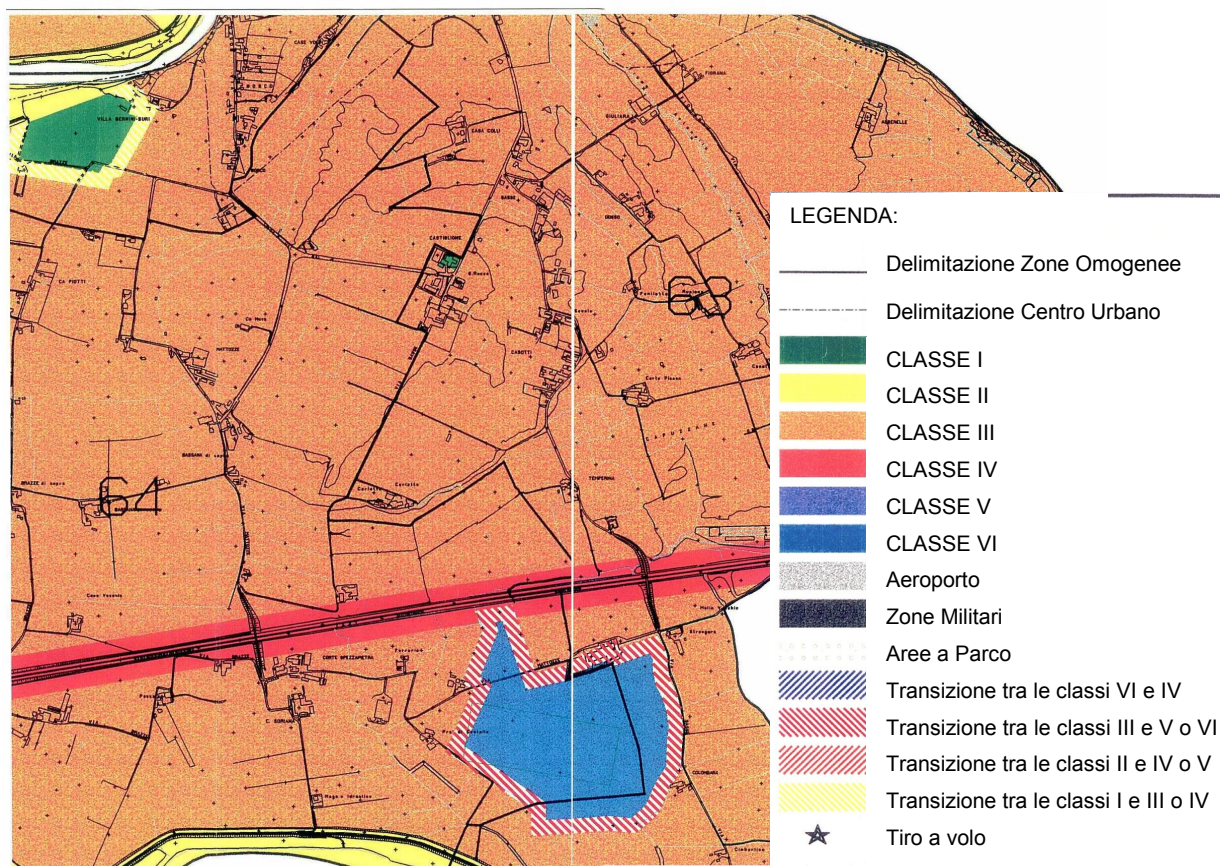
Figura 1-14: Punti di misura relativi all'indagine acustica.**Figura 1-15:** Zonizzazione acustica dell'area in cui è posizionato l'impianto RSU di Ca' del Bue.

Tabella 1-19: sono indicati i valori di riferimento e la classe acustica e per ogni posizione di misura.

| Posizioni di misura | Classe acustica | Valori limite assoluti di immissione | | Valori limite differenziali di immissione | |
|---------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---|--------------------------|
| | | LAeq D (6.00 – 22.00) | LAeq N (22.00 – 6.00) | LAeq N (22.00 – 6.00) | LAeq N (22.00 – 6.00) |
| Posizioni 1 | IV (fascia di transizione) | 65.0 | 55.0 | 5.0 | 3.0 |
| Posizione 2 | III | 60.0 | 55.0 | 5.0 | 3.0 |
| Posizioni 3 | IV (fascia di transizione) | 65.0 | 55.0 | 5.0 | 3.0 |

1.5.4 Indagine Strumentale

Per la verifica della compatibilità acustica della sorgente sonora oggetto di indagine (funzionamento degli impianti, delle macchine e delle attrezzature che costituiscono l'impianto di trattamento rifiuti nel suo complesso) in rapporto all'assetto urbanistico e alla relativa classificazione acustica del territorio in cui la stessa è collocata si è proceduto attraverso l'effettuazione di indagini temporali in continuo.

Nelle posizioni di misura precedentemente individuate sono stati posizionati strumenti di misura in grado di effettuare un campionamento in continuo delle immissioni sonore.

Nel periodo run-stop di misura l'acquisizione del dato fonometrico è avvenuta con successione di intervalli di 60 minuti e tempi di campionamento di livello istantaneo impostati ogni 1/8 di secondo. Non è stato possibile effettuare l'analisi in frequenza del segnale campionato.

Nel corso delle rilevazioni strumentali gli impianti, le macchine e le attrezzature sono rimaste in funzione secondo le modalità indicate da AGSM e di seguito, riassunte:

- nella posizione 1, nel periodo di misura 06.06.03 – 16.06.03, sono stati contati 169 transiti di automezzi pesanti;
- nella posizione 2, nel periodo di misura 23.06.03 – 29.06.03, sono rimaste in funzione la turbina a vapore e il forno 2 (il forno 1 era fermo);
- nella posizione 3, nel periodo di misura 30.06.03 – 02.07.03, il forno 1 è sempre rimasto fermo mentre la turbina vapore e il forno 2 si sono fermati durante la misura.

I risultati delle misure sperimentali ottenuti sono stati raccolti in forma sintetica nella Tabella 1-20 e posti a confronto con i valori di riferimento.

Tabella 1-20: Risultati delle misure di monitoraggio.

| Posizione di misura | Rumore ambientale diurno (6.00 - 22.00) | | Rumore ambientale notturno (22.00 - 6.00) | |
|---------------------|---|------------------|---|------------------|
| | LAeq sperimentale | LAeq riferimento | LAeq sperimentale | LAeq riferimento |
| 1 | 56.0 | 65.0 | 49.0 | 55.0 |
| 2 | 59.1 | 60.0 | 55.7 | 50.0 |
| 3 | 53.1 (*) | 65.0 | 53.1 (*) | 55.0 |

(*) Dati parziali in quanto durante la misura la sorgente (forno) ha smesso di funzionare.

1.5.5 Conclusioni

Dall'analisi dei risultati delle misure, nonché dalla ricognizione diretta dei luoghi e tenuto conto delle modalità di emissione della sorgente, si possono formulare le seguenti osservazioni:

- l'indagine temporale ha dimostrato il rispetto dei valori assoluti di immissione validi sia per il Tempo di Riferimento diurno sia per il Tempo di Riferimento notturno nelle posizioni di misura 1 e 3 collocate in classe IV.
 - ❖ posizione 1: si può aggiungere che il rumore prodotto dal transito degli automezzi pesanti si confonde con il rumore da traffico veicolare proveniente dalla vicina autostrada e strada complanare.
 - ❖ posizione 3: data la situazione dei luoghi al contorno, non è escluso che appena al di fuori della fascia individuata in Classe IV la rumorosità dell'impianto possa produrre un superamento dei valori di riferimento validi per la Classe III. L'interruzione del funzionamento degli impianti ha evidenziato, con riferimento al punto di misura, il netto contributo acustico della rumorosità degli impianti rispetto al rumore residuo valutata pari a circa 3,0 dB.

- L'indagine temporale ha dimostrato il non rispetto del valore assoluto di immissione relativo al Tempo di Riferimento notturno per quanto riguarda la posizione di misura 2 collocata in Classe III. I livelli sonori rilevati, ancorché relativi ad un tempo di misura di una settimana, evidenziano il superamento del valore limite di immissione previsto dal piano di classificazione acustica pari a 50.0 dB(A) per il periodo notturno.
- I dati rilevati nel corso dell'indagine attuale possono essere messi a confronto con i risultati dell'indagine effettuata nel 1998 con l'impianto di Ca' del Bue non funzionante. Il confronto tra i dati sperimentali rilevati nel corso dell'indagine del 1998 e quelli rilevati dall'indagine attuale (Tabella 1-21) evidenzia molto bene come il funzionamento degli impianti abbia contribuito a modificare il clima acustico precedente con riferimento particolare alle posizioni di misura 2 e 3 particolarmente esposte alla rumorosità della zona del ciclo termico.

Tabella 1-21: confronto tra i dati registrati nel 1998 e quelli registrati nel 2003.

| Posizione di misura | Indagine 1998 | Indagine 2003 | Indagine 1998 | Indagine 2003 |
|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | LAeq D (6-22) | LAeq D (22-6) | LAeq N (6-22) | LAeq N (22-6) |
| 1 – Ingresso impianto | 53.9 | 56.0 | 51.3 | 49.0 |
| 2 – Corte Stringara | 54.0 | 59.0 | 50.6 | 56.4 |
| 3 – Area agricola | 53.2 | 52.5 | 46.0 | 52.0 |

1.6 Biomonitoraggio

La campagna di Biomonitoraggio della qualità dell'aria nel territorio circostante l'impianto di trattamento di R.S.U. di Cà del Bue prevede l'applicazione di metodiche di "Bioindicazione" e di "Bioaccumulo". Sono stati eseguiti due monitoraggi: il primo è stata effettuato nel 1999, il secondo nel 2002.

1.6.1 Bioindicazione

L'indagine basata sul metodo di bioindicazione ha permesso di ricavare l'indice I.A.P. (Indice di Purezza Atmosferica) che definisce il livello di qualità dell'aria nell'area sottoposta a monitoraggio in base alla numerosità ed alla frequenza delle specie licheniche presenti nell'area interessata.

Nella campagna effettuata nel 1999 (mese di luglio) sono state individuate 13 stazioni di biomonitoraggio; il monitoraggio effettuato a fine 2002 (dal 21 ottobre al 2 dicembre) è stato ripetuto nelle stesse stazioni tranne le stazioni n. 9 (Via Lugo) e n. 12 (Strada Rodigina) presso le quali non è stato possibile accedere.

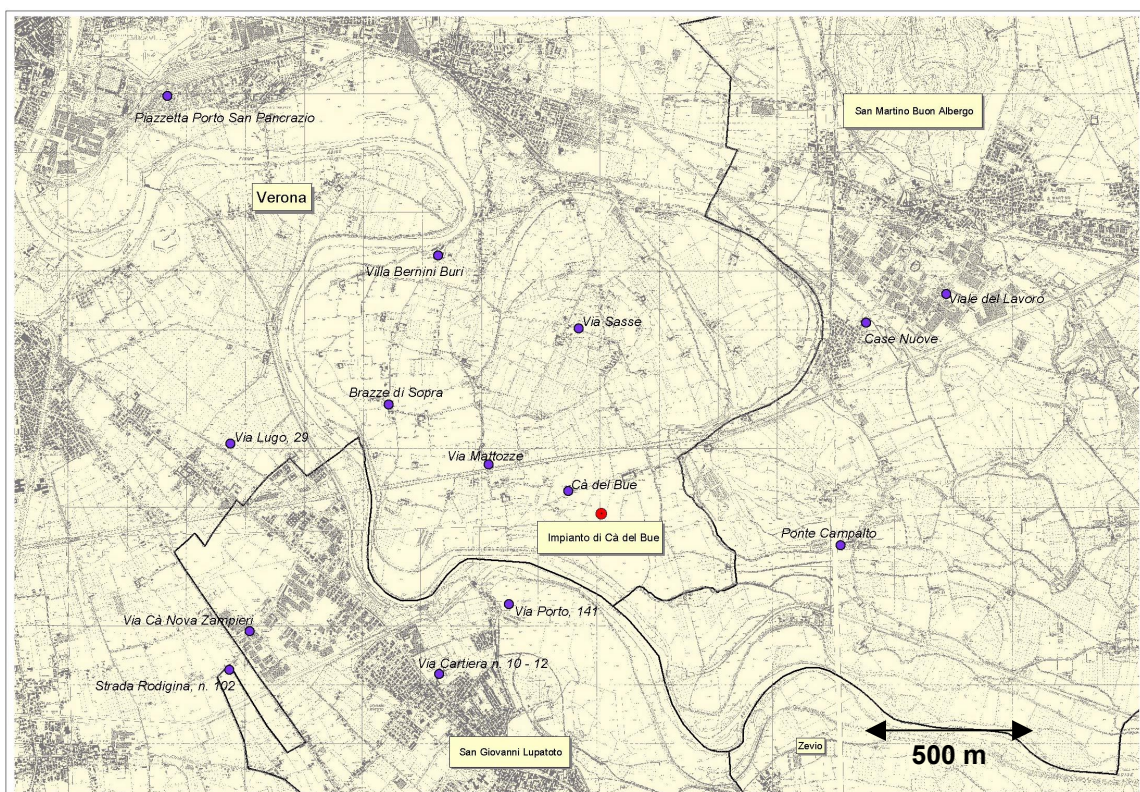
Si è quindi pensato di integrare con un'altra stazione, la n. 14, localizzata a Porto San Pancrazio. Poiché con la campagna precedente nella stazione n. 5 di Brazze di Sopra era stato rilevato un valore di I.A.P. 0,00 (zero) si è ritenuto opportuno monitorare l'area di S.Pancrazio situata a nord-ovest rispetto alla stazione n. 5 al confine della circonvallazione della città e dell'impianto siderurgico "Officine Galtarossa", per verificare un probabile impatto ambientale.

In Figura 1-16 sono localizzate le stazioni di monitoraggio utilizzate.

In Tabella 1-22 e nelle Figure Figura 1-17 e Figura 1-18 si riportano i risultati dell'indice I.A.P. delle due campagne effettuate (1999 e 2002) in modo da poter confrontare direttamente i valori ottenuti.

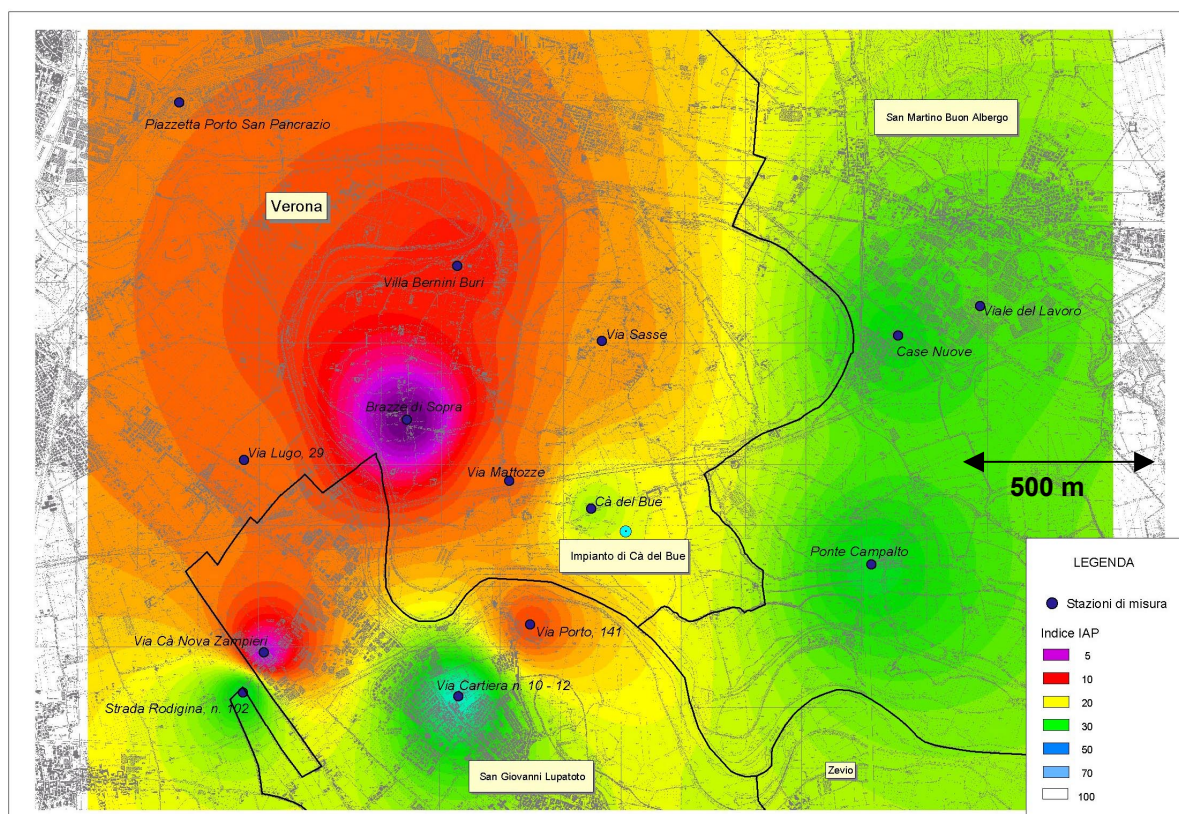
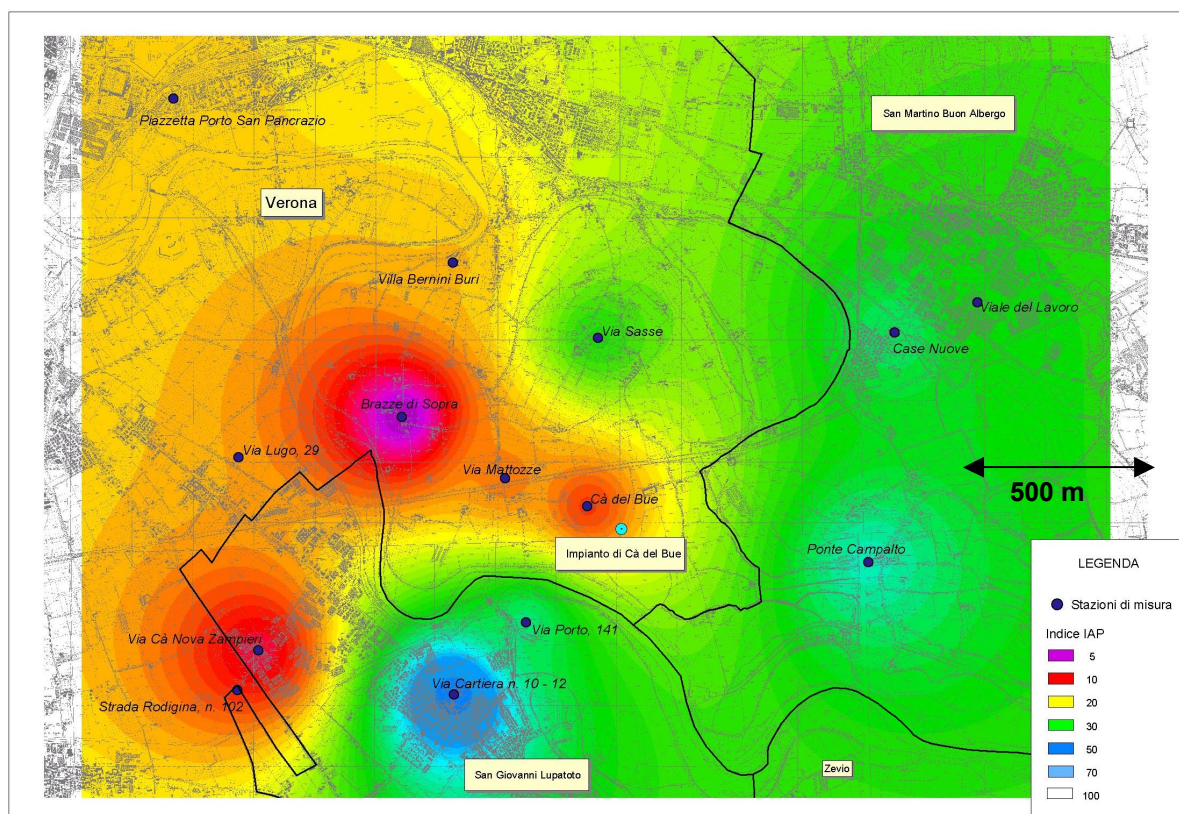
Dall'analisi della Tabella 1-22 si possono mettere in evidenza alcuni punti:

- Stazione 2: Si evidenzia un riduzione delle specie del 50% circa. Sono sparite l'*Hyperphyscia adglutinata* e la *Lecanora chlarotera* mentre la *Candelaria concolor* malgrado ancora presente ha subito una notevole riduzione e la specie *Phaeophyscia orbicularis* presenta una modesta riduzione.
- Stazione 4: Questa stazione era già stata monitorata dalla Regione Veneto nel '90 e nel '95 ed erano stati registrati risultati pessimi. Con le indagini successive del 1999 e del 2002 si è evidenziato un trend positivo del valore di I.A.P.: tre specie presenti nel '99, sei nel 2002.
- Stazione 5: Nel 2002 si incominciano ad evidenziare alcuni piccoli talli di *Phaeophyscia orbicularis* e *Candelariella reflexa*.

Figura 1-16: Localizzazione delle stazioni di monitoraggio utilizzate per determinare l'indice IAP.**Tabella 1-22:** Valore dell'indice I.A.P. ricavato con il metodo della bioindicazione nelle 2 campagne; la scala di valutazione dell'indice IAP è riassunta a pagina 26.

| Codifica stazione | Stazione | Indice I.A.P. Anno 1999 | Indice I.A.P. Anno 2002 |
|-------------------|--|-------------------------|-------------------------|
| 1 | Case Nuove (San Martino Buon Albergo) | 30.50 | 33.5 |
| 2 | Cà del Bue (Verona) | 23.00 | 12.25 |
| 3 | Via Mattozze (Verona) | 14.33 | 15.00 |
| 4 | Villa Bernini Buri (Verona) | 10.75 | 17.50 |
| 5 | Brazze di Sopra (Verona) | 0.00 | 3.66 |
| 6 | Via Sasse (Verona) | 15.75 | 28.75 |
| 7 | Via Cartiera n 10-12 (San Giovanni Lupatoto) | 36.75 | 47.00 |
| 8 | Via Porto, (San Giovanni Lupatoto) | 12.66 | 34.00 |
| 9 | Via Lugo, 29 – Palazzina (Verona) | 14.50 | ---- |
| 10 | Ponte Campalto (San Martino Buon Albergo) | 31.25 | 36.00 |
| 11 | Viale del Lavoro (San Martino Buon Albergo) | 27.50 | 29.75 |
| 12 | Strada Rodigina, 102 (San Giovanni Lupatoto) | 32.00 | ---- |
| 13 | Via Cà Nova Zampieri (San Giovanni Lupatoto) | 4.25 | 9.00 |
| 14 | Porto San Pancrazio (Verona) | ---- | 18.63 |

- Stazione 6 e Stazione 7: Incremento dell'indice I.A.P.
- Stazione 8: Gli alberi individuati nel '99 sono stati sostituiti con altri posti a circa 300 m di distanza perché da un'ulteriore indagine è stato riscontrato che i primi venivano trattati con antiparassitari. Il risultato della nuova stazione presenta un incremento significativo delle specie trovate (da tre a nove) e conseguente incremento dell'indice I.A.P.

Figura 1-17. Indice I.A.P. relativo alla campagna effettuata nel 1999.**Figura 1-18:** Indice I.A.P. relativo alla campagna effettuata nel 2002.

- Stazione 13: Rispetto alla situazione del 1999 con il monitoraggio del 2002 si è evidenziato un incremento dell'indice I.A.P. dovuto alla presenza di piccoli nuovi talli che probabilmente hanno colonizzato recentemente il tronco dei tigli. Ciò è da attribuire al fatto che è stata definitivamente aperta la tangenziale e il traffico si è notevolmente ridotto.
- Stazione 14: Questo valore di indice I.A.P. se confrontato con la scala di valutazione si attesta su "molto basso", è quindi ben lontano dalla situazione altamente negativa riscontrata nella stazione limitrofa n. 5 di Via Brazze.

| Scala I.A.P. | |
|--------------------|-----------|
| Inquinamento: | |
| medio alto | 0.0-5.0 |
| moderato | 5.1-10.0 |
| piuttosto basso | 10.1-20.0 |
| basso | 20.1-30.0 |
| molto basso | 30.1-50.0 |
| quasi trascurabile | 50.1-70.0 |
| trascurabile | >70.0 |

1.6.2 Bioaccumulo

Per quanto riguarda il metodo di bioaccumulo sono state applicate due metodiche di indagine: la prima prevede il posizionamento di muschi trapiantati ("moss bags") che forniscono indicazioni riguardanti le deposizioni atmosferiche di metalli avvenute nel periodo di esposizione; la seconda prevede la raccolta di "muschi indigeni" che forniscono la memoria passata delle deposizioni atmosferiche al suolo di metalli presenti nell'aria in traccia.

muschi trapiantati ("moss bags")

Le 2 campagne di monitoraggio eseguite nel 1999 e nel 2000 con l'utilizzo di questa metodica si prefiggevano scopi diversi : la prima ha permesso di misurare le concentrazioni di metalli rilevate nei muschi trapiantati posizionati nelle stesse località utilizzate per la determinazione dell'indice I.A.P.; la seconda è stata una campagna di intercalibrazione fra due specie di muschio (Spagnun e Hypnum cupressiforme) effettuata per verificare se la specie Hypnum cupressiforme largamente presente nel nostro territorio può sostituire la specie Spagnun difficilmente reperibile e altamente pregiata.

Campagna del 1999

Di seguito si riportano i risultati e una breve descrizione dell'area di indagine, del metodo di campionamento e di esposizione e della metodica utilizzata nella campagna eseguita nel 1999.

I muschi sono stati esposti in prossimità delle stazioni individuate per la valutazione dell'indice I.A.P. In totale le stazioni monitorate sono state 11, anziché 13, in quanto al momento del recupero 2 dei campioni sono risultati danneggiati (stazione n. 6 Castiglione/Corte Veci –Verona e stazione n. 12 Strada Rodigina, 102 –S.G. Lupatoto).

Il muschio esposto appartiene alla specie Sphagnum che bene si presta ad intrappolare il particolato atmosferico. I muschi trapiantati sono stati collocati ad un'altezza di 1,5-2 m dal suolo in aree ben esposte evitando coperture di alberi, edifici, ecc. L'esposizione si è protratta dal 05.10.99 al 23.11.99.

I metalli sono stati determinati con la tecnica analitica di spettrofotometria di assorbimento atomico in fornetto di grafite e in fiamma.

I risultati del monitoraggio basato sul principio del bioaccumulo in muschi trapiantati sono riportati nella Tabella 1-23.

I metalli analizzati sono stati scelti in relazione alle seguenti caratteristiche:

- Cd, Cr, Hg, Ni, Pb: tossici per l'uomo anche a basse concentrazioni;
- Cu, Zn: poco tossici a basse concentrazioni possono diventarlo a concentrazioni elevate;
- Mn: poco tossico, spesso di derivazione terrigena.

Per facilitare l'interpretazione dei risultati si riportano in Tabella 1-24 le concentrazioni di metalli pesanti presenti in Hypnum Cupressiforme in aree italiane non contaminate³.

³ ANPA "Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale" - serie Atti 2/1999

Tabella 1-23: Concentrazione (mg kg^{-1} peso secco) di metalli rilevate nei muschi trapiantati posizionati nelle località la cui codifica è riportata nella prima colonna.

| C.S. | Cadmio (mg kg^{-1}) | Rame (mg kg^{-1}) | Cromo (mg kg^{-1}) | Nichel (mg kg^{-1}) | Piombo (mg kg^{-1}) | Zinco (mg kg^{-1}) | Mercurio (mg kg^{-1}) | Manganese (mg kg^{-1}) |
|------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 0,43 | 9,20 | 1,94 | 3,40 | 24,14 | 68,60 | 0,73 | 320,00 |
| 2 | 0,45 | 12,10 | 1,92 | 3,40 | 25,56 | 61,00 | 0,33 | 260,00 |
| 3 | 0,39 | 9,40 | 2,00 | 2,90 | 25,57 | 62,60 | 0,83 | 290,00 |
| 4 | 0,45 | 8,80 | 1,89 | 3,80 | 26,34 | 56,90 | 0,45 | 282,00 |
| 5 | 0,42 | 10,40 | 1,83 | 3,10 | 16,54 | 57,40 | 0,45 | 380,00 |
| 7 | 0,48 | 16,40 | 4,00 | 5,50 | 37,25 | 127,00 | 1,36 | 273,00 |
| 8 | 0,71 | 10,00 | 1,59 | 2,80 | 19,00 | 73,70 | 0,43 | 340,00 |
| 9 | 0,43 | 8,00 | 2,35 | 3,40 | 20,24 | 60,30 | 0,52 | 342,00 |
| 10 | 0,67 | 7,90 | 1,91 | 2,80 | 20,34 | 62,40 | 0,48 | 330,00 |
| 11 | 0,47 | 9,50 | 3,13 | 3,40 | 38,00 | 60,60 | 0,28 | 212,00 |
| 13 | 0,38 | 9,20 | 2,54 | 2,90 | 17,71 | 66,30 | 0,31 | 278,00 |

Tabella 1-24: Concentrazioni di metalli (mg kg^{-1} peso secco) presenti in *Hypnum cupressiforme* prelevato in aree italiane non contaminate.

| Cadmio (mg kg^{-1}) | Rame (mg kg^{-1}) | Cromo (mg kg^{-1}) | Nichel (mg kg^{-1}) | Piombo (mg kg^{-1}) | Zinco (mg kg^{-1}) | Manganese (mg kg^{-1}) |
|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| 0.38 | 8 | 1.2 | 0.53 | 15 | 27 | 77 |

Campagna del 2002

I controlli di Bioaccumulo sono stati effettuati a fine 2002 in tre stazioni già monitorate nel 1999 e scelte per effettuare una campagna di intercalibrazione fra due specie di muschio (*Spagnun* e *Hypnum cupressiforme*). Lo scopo dell'intercalibrazione è verificare se la specie *Hypnum cupressiforme* largamente presente nel nostro territorio può sostituire la specie *Spagnun* difficilmente reperibile e altamente pregiato. Sono state individuate tre stazioni indicate in Tabella 1-25, scelte in relazione ai valori dell'indice I.A.P. ottenuti nella campagna del 1999.

Tabella 1-25

| Codifica stazione | Stazione | I.A.P. Anno 1999 | Scala interpretativa I.A.P. |
|-------------------|--|---------------------|--------------------------------|
| 2 | Cà del Bue (Verona) | 23.00 | Inquinamento basso |
| 7 | Via Cartiera n 10-12 (San Giovanni Lupatoto) | 36.75 | Inquinamento molto basso |
| 13 | Via Cà Nova Zampieri (San Giovanni Lupatoto) | 4.25 | Inquinamento elevato |

I metalli ricercati ed i risultati ottenuti sono riassunti Tabella 1-26 e sono confrontati con quelli ottenuti nell'indagine del 1999. Nel monitoraggio del 1999 si evidenziano risultati tendenzialmente più elevati.

Si precisa che in tale indagine la mineralizzazione era stata eseguita presso il Laboratorio di Bassano DAP di Vicenza con HNO_3 al 65%. Nel 2002, invece, la procedura è stata eseguita presso il laboratorio di Chimica del nostro Dipartimento che si è dotato di un mineralizzatore usando HNO_3 al 35%. E' in corso una ricerca bibliografica per definire le procedura ottimale da applicare nella fase di mineralizzazione.

I dati ottenuti nel 2002 con i due tipi di muschio evidenziano che lo *Spagnun* ha una capacità di accumulo molto più elevata rispetto all'*Hypnum cupressiforme* per il metallo Mn. Per quanto riguarda il rame invece si verifica la situazione opposta: la concentrazione si è presentata sempre più elevata in *Hypnum cupressiforme* con variazioni tra le due specie di muschio non così marcate come si è manifesta invece con il Mn.

E' scientificamente documentato che il Mn in *Hypnum cupressiforme* viene accumulato in minor quantità. I processi di complessazione intracellulare nelle cellule del muschio sono meccanismi probabilmente più attivi con elementi diversi dal manganese⁴.

Tabella 1-26: Confronto tra i valori di concentrazione (mg kg^{-1} peso secco) ottenuti nelle 2 campagne.

| C. S. | muschio | anno | Cd (mg kg^{-1}) | Cu (mg kg^{-1}) | Cr (mg kg^{-1}) | Ni (mg kg^{-1}) | Pb (mg kg^{-1}) | Zn (mg kg^{-1}) | Mn (mg kg^{-1}) |
|-------|-----------------------------|------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 2 | Spagnum | 1999 | 0.45 | 12.10 | 1.92 | 3.40 | 25.56 | 61.00 | 260.00 |
| | Spagnum | 2002 | 0.17 | 5.72 | 0.75 | 0.97 | 6.90 | 23.83 | 195.61 |
| | <i>Hypnum cupressiforme</i> | 2002 | 0.11 | 7.99 | 0.89 | 1.05 | 4.97 | 26.24 | 11.98 |
| 7 | Spagnum | 1999 | 0.48 | 16.40 | 4.00 | 5.50 | 37.25 | 127.00 | 273.00 |
| | Spagnum | 2002 | 0.27 | 13.55 | 1.38 | 2.35 | 9.65 | 46.50 | 327.75 |
| | <i>Hypnum cupressiforme</i> | 2002 | 0.24 | 28.84 | 2.82 | 2.42 | 9.78 | 60.00 | 29.3 |
| 13 | Spagnum | 1999 | 0.38 | 9.20 | 2.54 | 2.90 | 17.71 | 66.30 | 278.00 |
| | Spagnum | 2002 | 0.24 | 12.90 | 2.5 | 2.35 | 14.55 | 64 | 413 |
| | <i>Hypnum cupressiforme</i> | 2002 | 0.23 | 22.60 | 2.98 | 2.24 | 15.10 | 74.80 | 29.30 |

Nella Tabella 1-24 sono espressi i dati di alcuni elementi presenti in *Hypnum cupressiforme* in aree italiane non contaminate (mg Kg^{-1})⁵.

La concentrazione di Mn si attesta su valori dell'ordine di grandezza simile ai dati registrati anche nella nostra indagine usando la specie *Hypnum cupressiforme*. Se nelle prossime campagne di bioaccumulo si valuterà di utilizzare questa specie di muschio bisognerà tener conto della variabilità di accumulo presentata rispetto allo *Spagnum*.

muschi indigeni

La metodica di indagine che prevede l'utilizzo dei muschi indigeni è stata eseguita solo nel 1999. Di seguito si riportano i risultati e una breve descrizione dell'area di indagine, del metodo di campionamento e di esposizione e della metodica utilizzata.

Nel corso della campagna le stazioni di campionamento sono state ridotte da 20 a 16, distribuite in un'area di 5 Km di raggio dal sito. Sono state escluse le 4 stazioni poste a 10 Km dal sito perché considerate troppo lontane per fornire informazioni utili in quanto lo studio di impatto ambientale, fatto in fase preliminare, aveva definito l'area di maggiore ricaduta entro un raggio di 2,5 Km dal sito. Si riportano Tabella 1-27 le località di campionamento indicandone la distanza dal sito e la codifica utilizzata.

Il campionamento, eseguito nel periodo compreso tra il 02.03.99 ed il 23.04.99, è stato effettuato in un'area di 1 m^2 circa per ogni stazione. Il muschio scelto appartiene alla specie *Hypnum cupressiforme*.

Nel tappeto muscinale sono stati raccolti 5-10 subcampioni scelti a caso limitando il campionamento alla parte superiore per minimizzare l'effetto del suolo fino ad ottenere una massa di circa 50-100 g. Sono stati prelevati circa 2-4 cm apicali, indicativamente rappresentativi del bioaccumulo degli ultimi due anni.

In laboratorio i campioni sono stati essiccati in stufa a 45°C (temperatura che minimizza le perdite per volatilizzazione dei metalli)⁶.

I metalli sono stati determinati con la tecnica analitica di spettrofotometria di assorbimento atomico in fornetto di grafite e in fiamma.

In Tabella 1-28 vengono riportati i risultati del monitoraggio basato sul principio del bioaccumulo di metalli in muschi indigeni; in Tabella 1-24 le concentrazioni di metalli pesanti presenti in *Hypnum Cupressiforme* in aree italiane non contaminate⁷. I metalli analizzati sono stati scelti in relazione alle caratteristiche specificate in precedenza (muschi trapiantati - campagna 1999 pag. 26):

⁴ Paolo Modenesi – Università di Genova - Convegno Torino 3-4 aprile 2003: "strumenti tecnici e biologici per il monitoraggio ambientale, licheni come biosensori - meccanismi di bioaccumulo nei licheni".

⁵ Atti del Workshop: "biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale", M. Cenci, pag. 241-263.

⁶ ANPA: "Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale" – serie Atti 2/1999.

⁷ ANPA: "Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale" - serie Atti 2/1999.

Tabella 1-27: Codifica delle stazioni di campionamento individuate per la valutazione delle deposizioni atmosferiche tramite l'utilizzo di muschi indigeni, distanza dall'impianto in Km e nome geografico della località.

| Codifica Stazione (C. S) | distanza dal sito (km) | località |
|--------------------------|------------------------|--|
| 1A | 1 | Temperina (Verona) |
| 1B | 1 | Ca' Vecchia (Verona) |
| 1C | 1 | Casino (Verona) |
| 1D | 1 | Soriana (Verona) |
| 2A | 2 | Giuliara (Verona) |
| 2B | 2 | Campalto (Verona) |
| 2C | 2 | zona Est, dx. Adige (S. Giovanni Lupatoto) |
| 2D | 2 | Luzza (Verona) |
| 3A | 3 | Misericordia (Vr) |
| 3B | 3 | Coetta (S. Martino Buon Albergo) |
| 3C | 3 | P.te Alto (S. Giovanni Lupatoto.) |
| 3D | 3 | Palazzina (Vr) |
| 5A | 5 | Le Albere (Verona) |
| 5B | 5 | Mariona (S. Martino Buon Albergo) |
| 5C | 5 | Campagnola (Zevio) |
| 5D | 5 | Canova Tomba (Verona) |

Tabella 1-28: Concentrazione di metalli (mg kg^{-1} peso secco) in *Hypnum cupressiforme* prelevato nelle località di campionamento indicate dalla codifica (C.S.)

| C.S. | Cadmio (mg kg^{-1}) | Rame (mg kg^{-1}) | Cromo (mg kg^{-1}) | Nichel (mg kg^{-1}) | Piombo (mg kg^{-1}) | Zinco (mg kg^{-1}) | Ferro (mg kg^{-1}) | Arsenico (mg kg^{-1}) | Manganese (mg kg^{-1}) | Alluminio (mg kg^{-1}) |
|------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1A | 0,40 | 271,00 | 4,07 | 3,12 | 7,34 | 121,28 | 868 | < 0,4 | 38,50 | 38,5 |
| 2A | 0,37 | 25,12 | 4,04 | 1,59 | 8,60 | 63,27 | 438 | < 0,4 | 30,80 | 249,0 |
| 3A | 0,33 | 31,25 | 7,22 | 5,31 | 11,28 | 65,85 | 4357 | 2,00 | 76,40 | 5620,0 |
| 5A | 0,29 | 11,50 | 2,98 | 1,91 | 7,39 | 123,60 | 600 | < 0,4 | 31,30 | 858,0 |
| 1B | 0,56 | 22,00 | 71,20 | 1,14 | 14,14 | 65,88 | 486 | 1,72 | 83,60 | 5750,0 |
| 2B | 0,33 | 14,28 | 20,04 | 5,19 | 9,30 | 46,69 | 2240 | 0,85 | 61,20 | 2242,0 |
| 3B | 0,29 | 81,62 | 3,66 | 2,09 | 7,94 | 105,00 | 1074 | < 0,4 | 34,10 | 1332,0 |
| 5B | 0,42 | 261,00 | 8,17 | 6,07 | 11,10 | 60,60 | 3710 | 1,67 | 89,70 | 5998,0 |
| 1C | 0,92 | 85,69 | 5,81 | 3,74 | 11,34 | 59,66 | 1987 | 1,44 | 62,40 | 1880,0 |
| 2C | 0,63 | 18,12 | 7,84 | 4,11 | 15,05 | 60,39 | 3245 | 1,88 | 72,20 | 4200,0 |
| 3C | 0,36 | 198,00 | 2,56 | 1,35 | 5,37 | 52,75 | 582 | 0,45 | 33,70 | 186,0 |
| 5C | 0,64 | 54,00 | 3,47 | 2,72 | 8,46 | 135,70 | 1587 | 0,94 | 47,10 | 2325,0 |
| 1D | 0,61 | 30,41 | 6,16 | 3,81 | 17,60 | 69,44 | 2520 | 1,55 | 56,80 | 3160,0 |
| 2D | 0,45 | 10,40 | 3,24 | 1,71 | 10,50 | 50,51 | 622 | < 0,4 | 32,90 | 480,0 |
| 3D | 0,51 | 25,60 | 11,60 | 6,94 | 28,51 | 176,40 | 5195 | 2,20 | 126,80 | 4540,0 |
| 5D | 0,41 | 55,00 | 3,25 | 2,14 | 12,75 | 151,30 | 548 | < 0,4 | 37,20 | 1065,0 |

1.6.3 Conclusioni

L'analisi della presentazione grafica dell'indice I.A.P. relativo alle campagne effettuate nel 1999 e nel 2002 evidenzia una diminuzione di tale indice nelle stazioni posizionate ad Ovest del sito di Ca' del Bue: la causa può essere attribuita alla presenza di aree industriali al confine di questo territorio. Il monitoraggio effettuato nel 2002, in alcuni casi, ha fatto registrare rispetto all'indagine precedente variazioni del valore dell'indice.

Una variazione consistente è stata evidenziata nella stazione 5 (Brazze di Sopra), mentre la prima indagine aveva fatto registrare un indice I.A.P. di 0.00, nella successiva sono stati evidenziati alcuni talli di licheni giovani. Inoltre è stato rilevato un incremento dell'indice presso la stazione 13 (Via Cà Nova Zampieri) che è passato dalla classe di qualità "inquinamento alto – I.A.P. 4.25" alla classe di qualità "inquinamento moderato – I.A.P. 9.00". Il miglioramento rilevato in questa ultima stazione è sicuramente da attribuire alla consistente diminuzione del traffico veicolare in seguito all'apertura della tangenziale. Condizioni di peggioramento sono state invece evidenziate nella stazione 2 (Cà del Bue): è stata registrata una riduzione delle specie del 50%, sono sopravvissute solo le specie riconosciute essere poco sensibili. In tutte le altre stazioni il valore dell'indice è risultato migliore nella seconda indagine; il notevole miglioramento della stazione 8 (Via Porto) è da attribuire al fatto che nell'ultima indagine gli alberi sono stati sostituiti con altri posti a 300 m circa perché è risultato che gli alberi monitorati nel 1999 venivano occasionalmente trattati con antiparassitari. Nella nuova stazione introdotta (n° 14 – Porto S. Pancrazio) è stato registrato un valore di modesta qualità "inquinamento piuttosto basso – 18.63".

Anche l'analisi delle concentrazioni di inquinanti presenti nei muschi indigeni e nei muschi trapiantati confermano che i valori elevati prevalgono ad ovest di Ca' del Bue.

Per quanto riguarda ad esempio il Cromo un valore di concentrazione elevato è stato rilevato nei muschi indigeni raccolti nella stazione 1B (Ca' Vecchia - Verona): nell'area circostante il punto di campionamento è situata una discarica di rifiuti speciali e un impianto di trattamento rifiuti, che possono aver inquinato il territorio circostante. I muschi trapiantati posizionati nelle vicinanze (stazione 11, viale del Lavoro – San Martino Buon Albergo) mostrano invece livelli bassi di questo elemento: è quindi probabile che l'inquinamento risalga ad un periodo antecedente.

Un altro elemento fra quelli presi in considerazione, il Piombo, mostra valori elevati sia nelle stazioni 2C, 1D e 3D di campionamento di muschi indigeni che nella 7 (via Cartiera San Giovanni Lupatoto) di esposizione di muschi trapiantati, situata in una posizione intermedia. Nello stesso punto si registrano anche valori elevati di Rame.

In prossimità di Ca' del Bue i muschi trapiantati mostrano valori elevati di Rame, confermati dall'analisi dei muschi indigeni prelevati nella stazione 1A (Temperina).

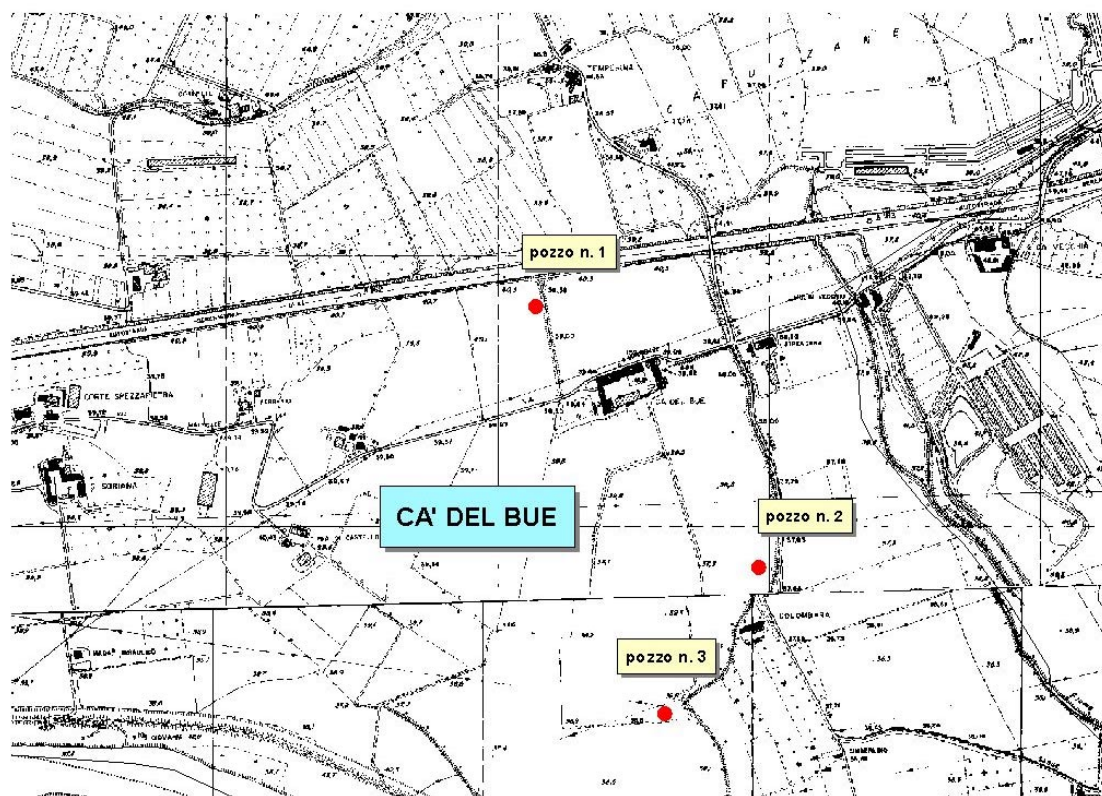
La campagna di intercalibrazione verrà ripetuta e integrata nel prossimo anno, al fine di stabilire se sarà possibile utilizzare la specie *Hypnum cupressiforme* largamente presente nel nostro territorio per sostituire la specie *Spagnum* difficilmente reperibile e altamente pregiato.

1.7 Qualità dell'acqua di falda

L'attività di monitoraggio delle acque di falda è stata avviata nel dicembre 1999, precedentemente all'avvio dell'impianto, ed è proseguita con una frequenza di 3 verifiche/anno negli anni 200-2001 e di 2 verifiche/anno negli anni 2002-2003 (si veda Tabella 1-29).

Per i controlli ci si avvale della rete di monitoraggio predisposta allo scopo, costituita da tre piezometri che indagano la falda più superficiale, posti idrogeologicamente a monte (piez. 1) e a valle (piez. 2 e 3) rispetto alla direzione prevalente della falda acquifera (si veda Figura 1-19).

Figura 1-19: Localizzazione dei piezometri di monitoraggio delle acque di falda (a monte pozzo n. 1, a valle pozzi n. 2 e n. 3).



Le evidenze riguardanti le caratteristiche qualitative delle acque di falda, così come rilevate dai campionamenti ed analisi eseguiti presso i piezometri di controllo a partire dal 1999, possono essere così sintetizzate:

- durante il periodo di monitoraggio esaminato, i superamenti dei limiti previsti dalle normative di riferimento (DM 471/99 e DPR 236/88) hanno interessato i parametri ferro, manganese, nitrati, solventi organoclorurati;
- per quanto riguarda i primi due parametri, ferro e manganese, questi si sono rilevati in concentrazioni tendenzialmente più elevate nel piezometro a valle 2, già nelle prime fasi di monitoraggio e precedentemente all'entrata in funzione dell'impianto; sono quindi ascrivibili a situazioni idrogeologiche localizzate dovute a cause naturali o antropiche, ma comunque non ricollegabili alla presenza dell'impianto;
- analoghe considerazioni possono essere addotte per valutare la presenza di tracce di solventi organoclorurati, che saltuariamente sono comparsi nei tre piezometri già a partire dalle prime fasi di campionamento;
- con ancora minore frequenza sono stati osservati valori più elevati di nitrati nei piezometri 1 (a monte) e 3 (a valle), comunque non ascrivibili alla discarica ma eventualmente a pratiche agronomiche;
- per i rimanenti parametri chimici presi in considerazione nelle verifiche non sono state osservate variazioni di rilievo nel confronto tra pozzi a monte e a valle; analogamente, non sono state riscontrate evidenti tendenze ad un aumento di concentrazione nel corso del tempo di specifici parametri in ogni singolo piezometro;
- si è pertanto dell'avviso che non siano dimostrabili allo stato attuale impatti negativi sulle acque di falda superficiali derivanti dalla presenza dell'impianto.

Tabella 1-29: Dati analitici ottenuti nei controlli effettuati per la valutazione della qualità dell'acqua di falda.

| N. certificato | U.M. | 4448/00 | 7993/00 | 4209/01 | 8201/01 | 4706/02 | 8831/02 | 4449/00 | 7994/00 | 4210/01 | 8202/01 | 4707/02 | 8832/02 | 4450/00 | 7995/00 | 4211/01 | 8203/01 | 4708/02 | 8833/02 |
|-------------------------------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| N. POZZO | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| pH a 20 gradi C | | 7 | 7,3 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,1 | 7 | 7 | 6,9 | 6,9 | 7 | 6,9 | 7 | 7,2 | 7,1 | 7,1 | 7,3 | 7,1 |
| Residuo fisso a 180 gradi | mg/l | 504 | 382 | 546 | | | | 566 | 527 | 651 | | | | 557 | 497 | 593 | | | |
| Conducibilità a 20 C | mg/l | 700 | 531 | 758 | 464 | 642 | 601 | 787 | 732 | 904 | 993 | 766 | 915 | 774 | 690 | 823 | 806 | 664 | 760 |
| Durezza totale | mg/l | 39 | 29 | 39 | 39 | 36 | 31 | 50 | 46 | 54 | 70 | 45 | 51 | 48 | 44 | 48 | 49 | 38 | 43 |
| Alcalinità | mg/l | 258 | 260 | 298 | 300 | 293 | 277 | 390 | 415 | 412 | 420 | 394 | 480 | 403 | 362 | 412 | 414 | 370 | 419 |
| Ammoniacca (NH4) | mg/l | NR | NR | NR | NR | NR | NR | 0,2 | NR | NR | 0,1 | 0,1 | 0,1 | NR | NR | NR | NR | NR | NR |
| Nitriti (NO2) | mg/l | 0,08 | NR | NR | 0,2 | 0,04 | 0,08 | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR |
| Nitrati (NO3) | mg/l | 41 | 18 | 48 | 37 | 24 | 21 | NR | 1 | NR | NR | NR | NR | 34 | 32 | 49 | 54 | 19 | 34 |
| Ossidabilità Kubel (O2) | mg/l | NR | NR | NR | NR | | | 1,1 | NR | 0,5 | 0,8 | | | 1,6 | NR | NR | NR | | |
| C.O.D. | mg/l | 2 | 8 | 2 | 2 | 2 | <2 | 4 | 2 | 2 | 4 | 2 | <2 | 4 | 10 | 4 | 4 | 2 | <2 |
| Cloruri (Cl) | mg/l | 28 | 15 | 28 | 20 | 25 | 25 | 11 | 10 | 12 | 15 | 11 | 17 | 6 | 13 | 2 | 2 | 5 | 6 |
| Solfati (SO4) | mg/l | 68 | 48 | 76 | 65 | 62 | 55 | 79 | 81 | 95 | 115 | 71 | 114 | 25 | 56 | 19 | 20 | 22 | 28 |
| Cianuri (CN) | mg/l | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR |
| Fenoli | mg/l | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR |
| Fosforo totale (P2O5) | mg/l | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR |
| Sodio (Na) | mg/l | 15,5 | 15,7 | 20,1 | 12,2 | 18,2 | 14,2 | 7 | 8,1 | 7,9 | 8,2 | 6,7 | 9,1 | 5,9 | 8,2 | 5,8 | 5,4 | 4,8 | 6,3 |
| Potassio (K) | mg/l | 2,7 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 2,8 | 3,2 | 1,6 | 2,1 | 1,8 | 2,4 | 1,4 | 2,5 | 1,1 | 1,6 | 1,1 | 1,2 | 1 | 1,2 |
| Calcio (Ca) | mg/l | 104 | 88 | 120 | 116 | 106,7 | 89,6 | 148 | 144 | 172 | 216 | 137,3 | 150 | 144 | 132 | 160 | 168 | 117,7 | 132,2 |
| Magnesio (Mg) | µg/l | 32 | 17 | 21 | 24,3 | 22,7 | 22 | 29 | 24 | 27 | 38,9 | 26,1 | 32,2 | 29 | 27 | 19,4 | 17 | 19,9 | 23,7 |
| Ferro (Fe) | µg/l | NR | NR | NR | NR | NR | NR | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | NR | NR | NR | NR | NR | NR |
| Cadmio (Cd) | µg/l | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 |
| Cromo III (Cr) | µg/l | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| Nichel (Ni) | µg/l | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | 3 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | 2 | <2 | <2 | <2 | 4 |
| Piombo (Pb) | µg/l | <2 | 5 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | 2 | 8 | <2 | <2 | <2 |
| Rame (Cu) | µg/l | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | 3 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | 9 | <2 | 6 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| Zinco (Zn) | µg/l | <30 | 70 | 230 | 40 | 60 | <30 | <30 | 80 | 170 | 50 | 60 | <30 | <30 | 70 | 340 | 40 | 60 | <30 |
| Cloroformio | µg/l | 0,2 | 0,9 | 0,4 | 0,2 | <0,1 | NR | <0,1 | NR | <0,1 | <0,1 | <0,1 | NR | <0,1 | NR | <0,1 | <0,1 | <0,1 | NR |
| Tetracloretilene | µg/l | 0,8 | 1,3 | 1,3 | 0,8 | 1,5 | 2,1 | 0,1 | 0,6 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | NR | 0,6 | 1,2 | 0,7 | 0,2 | 0,2 | 0,7 |
| Tetracloro di carbonio | µg/l | <0,1 | 0,2 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | NR | <0,1 | 0,2 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | NR | <0,1 | 0,2 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | NR |
| Tricloretilene | µg/l | <0,1 | 0,7 | 0,2 | 0,1 | <0,1 | NR | <0,1 | 0,7 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | NR | <0,1 | NR | <0,1 | <0,1 | <0,1 | NR |
| 1,1,1-Tricloroetano | µg/l | <0,1 | 0,4 | 0,1 | <0,1 | 0,1 | NR | <0,1 | 0,4 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | NR | <0,1 | 0,4 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | NR |
| Triclorofluorometano | µg/l | 0,2 | <0,1 | 0,3 | <0,1 | 0,5 | 0,6 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,5 |
| 1,1,2-Tricloro-2,2,2-trifluoroetano | µg/l | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <1 |
| Sommatoria Organo-Alogenati | µg/l | 1,2 | 3,5 | 2,3 | 1,1 | 2,1 | 2,7 | 0,1 | 1,9 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | NR | 0,6 | 1,8 | 0,7 | 0,2 | 0,2 | 1,2 |
| Manganese (Mn) | µg/l | 228 | 35 | 34 | 83 | 14 | 30 | 706 | 300 | 556 | 589 | 572 | 193 | 28 | 3 | 10 | 2 | 2 | <1 |