

Questa relazione è la risposta al quesito postoci dal sindaco di Borgo Mozzano di confrontare gli impatti ambientali delle diverse possibili opzioni riguardanti l'uso delle biomasse legnose residuali al processo della detannizzazione, attività che fin dalle origini ha caratterizzato la produzione della ditta ALCE di Bagni di Lucca.

Gli impatti ambientali che saranno valutati sono quelli che si presume possano avere un ruolo determinante sullo stato di salute della popolazione residente nelle aree dove è possibile possa avvenire la ricaduta delle emissioni gassose del nuovo impianto che sostituirà quello già esistente.

Pertanto, le nostre valutazioni riguarderanno prevalentemente le emissioni gassose convogliate ed, in particolare, i composti più pericolosi per la salute umana presenti in queste emissioni: polveri fini, ultrafini, nanopolveri, ossidi di azoto e inquinanti persistenti sottoprodotti della combustione quali idrocarburi policiclici aromatici, diossine e furani.

Gli impatti da mettere a confronto saranno quantificati nei casi in cui esistono stime e misure delle emissioni a camino, come ad esempio nel vecchio impianto e nella proposta centrale termoelettrica a biomasse, e nei casi in cui la letteratura scientifica fornisce fattori di emissione confrontabili.

Per alcune ipotesi alternative, per le quali non sono reperibili fattori di emissioni, ci limiteremo a fare valutazioni qualitative, che riteniamo possano essere comunque utili per il decisore politico.

Il criterio generale che guiderà le nostre valutazioni non sarà quello di avere impianti che garantiscano il pieno rispetto dei limiti delle emissioni a camino e della qualità dell'aria nelle zone di ricaduta. Diamo per scontato che queste norme saranno rispettate; nostro obiettivo sarà quello di individuare soluzioni imprenditoriali che, garantendo il giusto reddito e l'occupazione, garantiscano un netto e costante miglioramento dell'attuale qualità dell'aria, nel pieno rispetto degli obiettivi della Direttiva 96/62/CE, "*Gestione e qualità dell'aria ambiente dei Paesi dell'Unione*" che al primo punto prevede di "**mantenere la qualità dell'aria ambiente, laddove è buona, e migliorarla negli altri casi**".

Infine riteniamo utile precisare che nelle nostre valutazioni e nelle nostre scelte non avranno un peso determinante le emissioni di gas clima alteranti delle diverse opzioni che discuteremo.

La riduzione delle emissioni di "gas serra" è un argomento di grande importanza, tuttavia riteniamo che, in questo caso, la tutela della salute pubblica debba essere la scelta prioritaria. Per ribadire questo concetto ricordiamo che l'anidride carbonica che si produce con la combustione di biomasse è un gas innocuo per la salute umana mentre i fumi che si producono durante la

combustione delle biomasse in generale e del legno in particolare sono potenzialmente molto pericolosi in quanto contengono numerosi composti tossici, cancerogeni e mutageni.

### ***Combustione della legna e effetti sulla salute***

Nell'Unione europea l'uso di biomasse a scopi energetici è fortemente aumentato nelle ultime decadi e la stessa Unione Europea ha fissato importanti obiettivi a riguardo, in particolare, nel 2010, il 10 % dei consumi energetici dei paesi dell'Unione dovrebbe essere coperta dall'uso di biomasse.

A questo riguardo occorre precisare che gli usi energetici delle biomasse sono molteplici e nell'obiettivo del 10% rientrano, a pieno titolo, gli usi termici per la produzione di acqua e aria calda, la produzione di combustibili liquidi per l'autotrazione (bio-etanolo e biodiesel), la produzione di combustibili gassosi (biogas e biometano) da fermentazione anaerobica per l'autotrazione e la produzione di calore.

Non esiste nessuna norma o restrizione tecnologica che obblighi ad usi energetici delle biomasse esclusivamente per produrre elettricità.

Come vedremo la combustione delle biomasse comporta la produzione di emissioni inquinanti tutt'altro che trascurabili.

Tuttavia, costi dei combustibili "rinnovabili" minori di quelli dei combustibili fossili, incentivi economici (certificati verdi, CIP 6) elargiti alla produzione di elettricità da fonti rinnovabili, semplificazioni normative per le autorizzazioni di questi impianti, sono alla base di una crescente richiesta di realizzare, anche nel nostro paese, centrali elettriche alimentate a biomasse.

A fronte di questa scelta, si osserva un crescente interesse della comunità scientifica (Khan et al., 2009) per gli impatti ambientali e sanitari derivante dagli effluenti gassosi prodotti dalla combustione delle biomasse e dai residui solidi (ceneri pesanti e ceneri leggere) (Hanell et al., 2005) che questi impianti inevitabilmente producono.

I principali problemi ambientali che questi studi segnalano sono:

- 1) Le elevate concentrazioni di polveri sottili ed ultrasottili prodotte dalla combustione di biomasse in impianti per uso domestico (Gustafson, 2009; Gustafson et al., 2007; Hubner et al., 2005; Johansson et al., 2003) ed industriale (Joller et al., 2007; Meyer et al., 2008)
- 2) La presenza non trascurabile, sulle polveri, di inquinanti organici quali idrocarburi policiclici aromatici (IPA) (Gustafson, 2009; Saez et al., 2003; Venkataraman et al., 2002) e diossine (Lavric et al., 2004; Lavric et al., 2005)

3) La presenza di IPA (Bundt et al., 2001; Enell et al., 2008) e diossine nelle ceneri (Lavric et al., 2004) e la conseguente problematicità di un uso agricolo di tali ceneri.

Numerosi studi segnalano pericoli per la salute umana derivante dall'esposizione a fumi prodotti dalla combustione di biomasse (Allen et al., 2008; Boman et al., 2003; EPA, 2008; Kocbach Bølling et al., 2009; Löndahl et al., 2009; Orru et al., 2009; Ramanakumar et al., 2007; RINNE et al., 2007).

Un'ampia rassegna bibliografica è stata pubblicata nel 2007 (Naeher et al., 2007) dedicata alla valutazione degli studi riguardanti gli effetti sulla salute umana derivanti dall'esposizione a fumo di legna.

In quel periodo, gli studi sull'impatto sanitario dei fumi prodotti da combustione di biomasse vegetali effettuati nei paesi sviluppati erano ancora troppo pochi, nonostante il crescente utilizzo di biomasse per il riscaldamento domestico in paesi quali Svezia (Krecl, 2008), Canada (Ramanakumar et al., 2007), Germania (Bari et al., 2009), Australia (Galbally et al., 2009).

A riguardo l'autore (Naeher et al., 2007) conclude che, comunque, tutti gli studi effettuati segnalano che l'esposizione a fumo di legna prodotto da impianti di riscaldamento domestico è associata ad effetti sanitari all'apparato respiratorio, del tutto simili a quelli prodotti dall'inalazione di particelle prodotte dalla combustione di combustibili fossili.

Non siamo a conoscenza di studi sulla qualità ambientale e sullo stato di salute dei residenti intorno a centrali termiche e termoelettriche alimentate a biomasse. Tuttavia riteniamo che questo fatto sia dovuto principalmente all'introduzione abbastanza recente di queste tecnologie e, non escludiamo che l'attuale assenza di studi sull'inquinamento prodotto da centrali a biomasse sia dovuta anche alla diffusa percezione dell'innocuità dei fumi prodotti dalle biomasse, percezione che, come si è visto, è assolutamente priva di fondamento.

### ***Combustione di biomasse e nanoparticelle***

Si definiscono come nano-particelle la frazione del pulviscono atmosferico con diametro inferiore a 0,1 micron o micrometro. Queste particelle sono cento volte più piccole delle particelle note come PM<sub>10</sub>, ossia con diametro inferiore a 10 micrometri.

La normativa europea ha fissato standard di qualità dell'aria per le PM<sub>10</sub> con le direttive 1999/30/EC e 1996/62/EC, in base alle quali, dal 1° febbraio 2010, la concentrazione media annuale di PM<sub>10</sub> non deve superare 20 microgrammi /metro cubo e la concentrazione massima giornaliera non deve superare i 50 microgrammi/m<sup>3</sup>. In caso di superamenti del valore massimo giornaliero, questi, nell'arco dell'anno, possono essere al massimo sette.

Nel frattempo, gli studi e l'esperienza USA, paese che da diversi anni ha introdotto una normativa a riguardo, confermavano la maggiore pericolosità di polveri di diametro inferiore ( 2,5 micrometri), le cosiddette PM<sub>2,5</sub> che, grazie a queste dimensioni minori, riescono a penetrare più in profondità negli alveoli polmonari.

Numerosi studi, anche italiani (Biggeri et al., 2001), hanno confermato come ad un aumento delle concentrazioni di PM<sub>10</sub> aumentino anche i decessi tra la popolazione esposta (Englert, 2004; Lee et al., 2007; Ostro et al., 1999) e che l'esposizione a PM<sub>2,5</sub> è associata a numerose patologie cardiocircolatorie (Guo et al., 2009; Neuberger et al., 2007; Polichetti et al., 2009).

Come controprova della pericolosità delle polveri sottili e ultrasottili, diversi studi stanno verificando che laddove la concentrazione di polveri sottili è diminuita si registrano significativi miglioramenti dello stato di salute delle popolazioni, misurabile in un sensibile aumento dell'aspettativa di vita (Laden et al., 2006). E' importante segnalare che la riduzione delle concentrazioni di PM<sub>2,5</sub> si sono registrate dopo l'introduzioni di norme anti inquinamento più severe e con la chiusura di attività produttive pesantemente inquinanti.

Studi più recenti stanno evidenziando potenziali rischi per la salute anche a seguito dell'inalazione di nanoparticelle, la cui pericolosità è attribuita alla possibilità di distribuirsi in tutti gli organi e di indurre effetti infiammatori che possono essere responsabili di numerose malattie (Helfenstein et al., 2008; Sharma et al., 2007).

Studi, altrettanto recenti, stanno confermando come nei fumi prodotti dalla combustione di biomasse siano particolarmente abbondanti particelle ultrafini e nanoparticelle (Kim et al., 2010; Laitinen et al., 2010) e questo, a nostro avviso, è il punto debole della proposta di realizzare a Bagni di Lucca una centrale termoelettrica alimentata con legno di castagno e di altre biomasse vegetali.

Infatti i segnali ad oggi disponibili, sulla qualità ambientale della vallata , suggeriscono la necessità di ridurre drasticamente i livelli di inquinamento atmosferico presenti in questa zona e il progetto della nuova ELCE, non sembra rispondere a questa esigenza.

## **Cenni storici sulla ALCE spa**

L'insediamento industriale ALCE spa è presente nel paese di Fornoli fin dal 1903, anno in cui è stata avviata la produzione di tannino per estrazione da legno di castagno.

Questa specifica attività si è protratta fino al 2007.

Nel 1957 presso la ELCE era attivata la linea di produzione di carta chimica, realizzata con il legno detannizzato, integrato con altri legnami e carta da macero.

In quello stesso anno si avviava la produzione di furfurolo e acido acetico da gusci di nocciolo e mandorle, scarti delle locali industrie dolciarie. Questa specifica attività, particolarmente impattante sull'ambiente, è stata chiusa nel 1989.

I consumi di calore ed energia elettrica dell'impianto e degli uffici erano in gran parte autoprodotti, utilizzando metano, olio combustibile e black liquor concentrato ( liscivia esausta ricca di lignina proveniente dalla lavorazione della carta chimica ).

La Tabella 1, con riferimento al 2005, riporta i bilanci annuali della ALCE con riferimento ai materiali in ingresso, i combustibili e l'energia elettrica utilizzata, la produzione di tannino e di carta chimica, gli scarichi e rifiuti

TABELLA 1 ALCE: bilancio ambientale 2005

<b>INPUT</b>		<b>OUTPUT</b>	
<b>Materie prime</b>		<b>Prodotti</b>	
Legno (Tonn.)	107.068	Bobine di carta (Tonn.)	57.498
Macero	18.917	Tannino 100% (Tonn.)	4.076
<b>Materiali Ausiliari</b>		<b>Rifiuti</b>	
Prodotti chimici (tonn)	8.773	Pericolosi (Tonn.)	32
		Non pericolosi (Tonn.)	9.190
		<b>Totale (Tonn.)</b>	<b>9.222</b>
<b>Energia</b>		Di cui:	
<b>Energia elettrica</b>		Allo smaltimento (Tonn.)	1.673
Autoprodotta (kWh)	35.484.480	Al recupero (Tonn.)	7.549
Prelevata dalla rete (kWh)	23.500.758	<b>Scarichi</b>	
<b>Totale</b>	<b>58.985.238</b>	Quantità (m <sup>3</sup> )	14.755.000
<b>Consumo Combustibili</b>		C.O.D. (Tonn.)	904
Metano (Sm <sup>3</sup> )	14.832.946	S.S.T (Tonn.)	160
Olio combustibile (Tonn.)	7.879	<b>Emissioni</b>	
Black Liquor (Tonn.) 100% s.s.	15.442	Ossidi di azoto (Tonn.)	105
Gasolio per autotrazione (m <sup>3</sup> )	116	Ossido di carbonio (Tonn.)	85
<b>Prelievi idrici</b>		Biossido di Carbonio (Tonn.)	53.651
Da acque superficiali (m <sup>3</sup> )	14.800.000	Particolato (Tonn.)	7,1
Da acquedotto (m <sup>3</sup> )	3.000	Ossido di zolfo (Tonn.)	100

La Tabella 2 riporta in dettaglio la quantità di energia prodotta dai diversi combustibili usati nel “vecchio” impianto e la loro percentuale

Tabella 2 Energia prodotta annualmente dai combustibili usati dallo stabilimento ALCE prima della riconversione

	Chilocalorie	Gwh	%
Metano	153.695,2 10 <sup>6</sup>	178,7	64,1
Olio combustibile	26.094,4 10 <sup>6</sup>	30,3	10,9
Black liquor	59.821,2 10 <sup>6</sup>	69,6	24,9
Totale	239.610, 8 10 <sup>6</sup>	278,6	100
Energia elettrica da rete		23,5	

Nella sua originaria configurazione la principale fonte di energia della ELCE era il metano (64,1%) seguito dal Black liquor (24,9 %).

Questi combustibili coprivano l'intero fabbisogno di calore per la produzione del tannino e della carta chimica e parzialmente i fabbisogni elettrici dell'impianto

La produzione di tannino e di carta chimica è proseguita fino al 2007, anno in cui sono cessate tutte le produzioni, principalmente per problemi di mercato della carta chimica, e si è deciso di riconvertire l'azienda in centrale termoelettrica alimentata a "biomasse". in particolare legname di diversa provenienza da aggiungere al legno di castagno detannizzato.

Dai bilanci della Tabella 1 e dalla Tabella 2 si evince che il principale "core business" della ALCE era la produzione di carta chimica e che olio combustibile e black liquor coprivano circa il 33 % dei consumi energetici dell'intero stabilimento.

Nel nuovo progetto presentato dall'Azienda resta la produzione di tannino e, di fatto, l'impianto si converte a centrale termoelettrica alimentata a biomasse e il nuovo "core business" diventa la produzione e la vendita di energia elettrica che, in quanto prodotta da fonti rinnovabili, può godere delle agevolazioni di legge previste in questo caso (certificati verdi).

La Tabella 3 sintetizza il bilancio di materia e di energia della nuova ELCE

Tabella 3. Bilancio annuale della Nuova ELCE

Ingresso		Uscita	
Cippato detannizzato	80.000 t	Tannino	4.076 t
Legname Vario	45.000 t		
Scarti taglialegna	10.500 t	Energia elettrica in rete	97,2 GWh
Segatura	6.800 t	Energia elettrica autoconsumo	16,2 GWh
Sansa	5.000 t	Calore autoconsumo	32,4 GWh
totale	147.300 t	Calore disperso ( _ =37,1%)	393 GWh
<i>Potere calorifico</i>	<i>427 GWh</i>	Totale	538,8 GWh
Metano	460.000 Nm <sup>3</sup>	Ceneri pesanti	5.500 t
		Ceneri leggere	1.200 t

Nel bilancio della nuova ELCE, la vendita di tannino è marginale e tutta la biomassa che era utilizzata per produrre carta chimica, viene usata per produrre elettricità.

Questa scelta, condiziona il dimensionamento dell'impianto che, per raggiungere opportune economie di scala, è progettato per una potenza elettrica di 12 MWe, decisamente sovradimensionato rispetto alla produzione del solo tannino e troppo sovradimensionato per permettere un utilizzo razionale della grande quantità di calore residuale alla produzione di elettricità.

Queste scelte comportano una elevata perdita di energia rinnovabile, stimata in 393 GWh /anno, corrispondente al calore residuale alla produzione di elettricità, calore che è disperso in atmosfera e non utilizzato in alcun modo.

Questo "spreco" è frutto di una politica di incentivi pubblici che non dà alcun valore al calore prodotto con fonti rinnovabili e non tiene alcun conto del pesante impatto ambientale prodotto dalla combustione di biomasse.

A riguardo facciamo notare come, a fronte di una produzione annua di 4.076 tonnellate di tannino, ci sia anche la "produzione" di 1.200 tonnellate di ceneri leggere che, prima del loro smaltimento, sarà opportuno analizzare nella componente organica ed inorganica, per verificare se sono veramente classificabili come rifiuto non pericoloso (al momento è prevista una classificazione come CER 10.01.03 ceneri leggere di torba e legno non trattato), in quanto in queste ceneri si troveranno concentrate le "poche" diossine, furani e i policiclici aromatici prodotti durante la combustione che si adsorbono preferenzialmente alle polveri ultrafini.



## **Impatti a confronto**

Nella relazione presentata dalla ALCE sono state confrontate le emissioni misurate nei camini della “vecchia” ALCE con quelli previsti per la nuova ALCE.

La Tabella 4 sintetizza questo confronto, che, a onor del vero, è passato attraverso diverse versioni, prima di questa che riteniamo definitiva.

Tabella 4 Confronto di emissioni di inquinanti; medie attuali e quelle attese in futuro

Inquinanti	SITUAZIONE ATTUALE		SITUAZIONE FUTURA		CONFRONTO
	mg/Nm <sup>3</sup>	kg/h	mg/Nm <sup>3</sup>	kg/h	kg/h
<b>SOx</b>	152	19,8	50	6,5	- 13,3 (-67%)
<b>NOx</b>	169	22	170	22,1	≈ 0
<b>CO</b>	193	25,1	90	11,7	- 13,4 (-53%)
<b>Polveri TOT.</b>	3,4	0,44	<5	<0,65	< 0,2 (+47%)

Per interpretare correttamente questa Tabella, ricordiamo che nella nuova ALCE non sono più utilizzati olio combustibile e black liquor, principali fonti degli ossidi di zolfo che si misuravano a camino.

Un'altra importante differenza tra questi due scenari a confronto è il sistema di trattamento fumi, nettamente migliorato nella nuova versione, e che prevede:

- Sistema DENOX termico ad urea per ridurre le emissioni di ossidi di azoto
- Elettrofiltro per la depurazione primaria dei fumi
- Reattore a secco per la neutralizzazione dei fumi con iniezione di calce
- Filtri a manica per la depolverizzazione finale

L'impianto per il trattamento fumi della “vecchia” ELCE che, ricordiamo utilizzava in prevalenza metano, come combustibile, prevedeva un elettrofiltro per ridurre le polveri, e un lavaggio alcalino dei fumi per ridurre la concentrazione di anidride solforosa.

Nonostante il netto miglioramento dell'impianto per il trattamento dei fumi, i valori attesi alle emissioni nel nuovo impianto ELCE non sono entusiasmanti: le emissioni di ossidi di azoto sono leggermente peggiori del precedente impianto e decisamente peggiori (+ 47%), quasi raddoppiate, sono le emissioni di polveri totali.

In altri termini, per dichiarazione dei progettisti, il nuovo impianto peggiorerà la qualità dell'aria nelle zone di ricaduta delle emissioni e, per di più, a causa due inquinanti (ossidi azoto e polveri) la cui pericolosità per la salute umana è ampiamente nota e documentata.

E non solo la quantità di polveri emesse sarà maggiore ma, rispetto al vecchio impianto, saranno maggiori le concentrazioni di polveri ultrasottili e di nanopolveri; questo è il risultato atteso dalla sostituzione del metano con la legna e nei fumi prodotti dalla combustione della legna le polveri ultrafini e le nanopolveri sono in concentrazione decisamente maggiore di quanto se ne riscontrino nei fumi derivanti dalla combustione del metano.

La Tabella 5 sintetizza i risultati di un recente studio effettuato dal Politecnico di Milano (Cernuschi et al., 2009) che ha misurato il numero di nano particelle in uscita da impianti termici (100-150 kw) alimentati con diversi combustibili e nell'aria ambiente in cui questi impianti si trovavano. I valori si riferiscono a misure effettuate dopo diluizione e raffreddamento.

TABELLA 5. Concentrazioni di nanoparticelle nelle emissioni di utenze termiche civili e percentuale di particelle con diametro inferiore a 0,1 micrometri

Utenza	numero particelle /cm <sup>3</sup>	Fraz < 0,1 micrometri (%)
pellet	41.000.000 -52.000.000	93/19
gasolio	8.600.000- 67.000.000	>99/89
metano	4.500	89/68
Aria ambiente	28.000	88/64

Da questo studio si evince che dal camino di una caldaia a pellet e a gasolio escono molte più nanoparticelle di quelle che escono da un impianto a metano e in quest'ultimo caso i fumi sono addirittura più puliti dell'aria ambiente, dove si trovano in quantità elevata nanoparticelle prodotte da altre fonti, presumibilmente il traffico veicolare.

Ovviamente questi risultati non possono essere trasferiti al caso studiato ma ci forniscono una informazione importante: le nanoparticelle prodotte da un impianto a metano, senza nessun trattamento fumi, sono intrinsecamente meno numerose di quelle prodotte da un impianto a biomasse ad alta efficienza e dotato di un depolveratore centrifugo assiale.

Pertanto il peggioramento della qualità delle emissioni della nuova ELCE sono da attribuire alla scelta dell'azienda di privilegiare la combustione delle biomasse per produrre elettricità, sostituendo in gran parte un combustibile intrinsecamente "pulito" come il metano con un combustibile intrinsecamente "sporco" come le biomasse legnose.

Questa differenza è confermata dalla Tabella 6, in cui sono messi a confronto di fattori di emissione stimati per impianti di cogenerazione alimentati con questi due diversi combustibili.

Pertanto, tra le scelte possibili, valutazioni esclusivamente economiche hanno fatto prevalere la scelta peggiore per quanto riguarda i possibili suoi effetti sulla qualità dell'ambiente e sulla salute umana.

Non ci sono dubbi, ad esempio, che un moderno ed efficiente impianto di trattamento fumi, applicato al precedente ciclo produttivo, avrebbe nettamente migliorato la qualità ambientale e un ulteriore miglioramento sarebbe stato prodotto se il metano avesse sostituito, come combustibile, gasolio e black liquor.

## Fattori di emissione a confronto

Il Programma Europeo di Valutazione e Monitoraggio (EMEP) elabora periodicamente un inventario delle emissioni inquinanti fornendo i fattori di emissione attribuibili a specifiche attività antropogeniche. Questo inventario è curato dalla task force UNECE/EMEC e pubblicato dalla Agenzia Europea per l'Ambiente e l'ultima edizione è uscita nel 2009 (Trozzi, 2009).

Da questo inventario sono stati tratti i fattori di emissione da impianti per la produzione di calore e elettricità alimentati, rispettivamente con legna e gas naturale riportati nella Tabella

I fattori di emissione fanno riferimento ad un Giga Joule (GJ) di energia prodotta e nella tabella sono riportati i valori medi e i valori minimi e massimi con limiti di confidenza al 95% .

Gli inquinanti presi in considerazione sono gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) , i Composti Organici Volatili (VOC), le polveri sottili e ultrasottili ( PM<sub>10</sub> , PM<sub>2,5</sub> ) , il mercurio (Hg), Diossine e Furani (PCDD/F) e il benzo(a) pirene (BaP)

TABELLA 6. Fattori di emissione (valore medio e valori minimi e massimi entro i limiti di confidenza del 95%) da impianti per la produzione di elettricità e calore, alimentati con metano e legno

	unità	metano		legno	
		Valore medio	min - max	Valore medio	min-max
NO <sub>x</sub>	<i>g/GJ</i>	89	16 - 180	211	60 - 420
SO <sub>x</sub>	<i>g/GJ</i>	0,3	0,2 - 0,4	11	6,5 - 15
VOC	<i>g/GJ</i>	1,5	0,8 - 6,0	7,3	2,4 - 22
PM <sub>10</sub>	<i>g/GJ</i>	0,9	0,4 - 1,3	38	5,7 - 645
PM <sub>2,5</sub>	<i>g/GJ</i>	0,9	0,4 - 1,3	33	5,2 - 555
Hg	<i>mg/GJ</i>	0,1	0,05 - 0,15	1,5	0,9 - 2,1
PCDD/F	<i>ng I-TEQ/GJ</i>	0,5	0,25 - 0,75	50	25 - 75
BaP	<i>μg/GJ</i>	0,6	0,2 - 1,7	1,12	0,67 - 1,57

Ref : (Trozzi, 2009)

La Tabella 6 mostra come, a parità di energia prodotta, un impianto alimentato a metano produca, per tutti i principali inquinanti, un inquinamento atmosferico nettamente inferiore a quello prodotto da un impianto alimentato con biomasse legnose vergini.

In particolare, una centrale a biomasse legnose immette in atmosfera una quantità di polveri ultrafini (  $PM_{2,5}$  ) trentasei volte maggiore di quanto ne produca una centrale a metano.

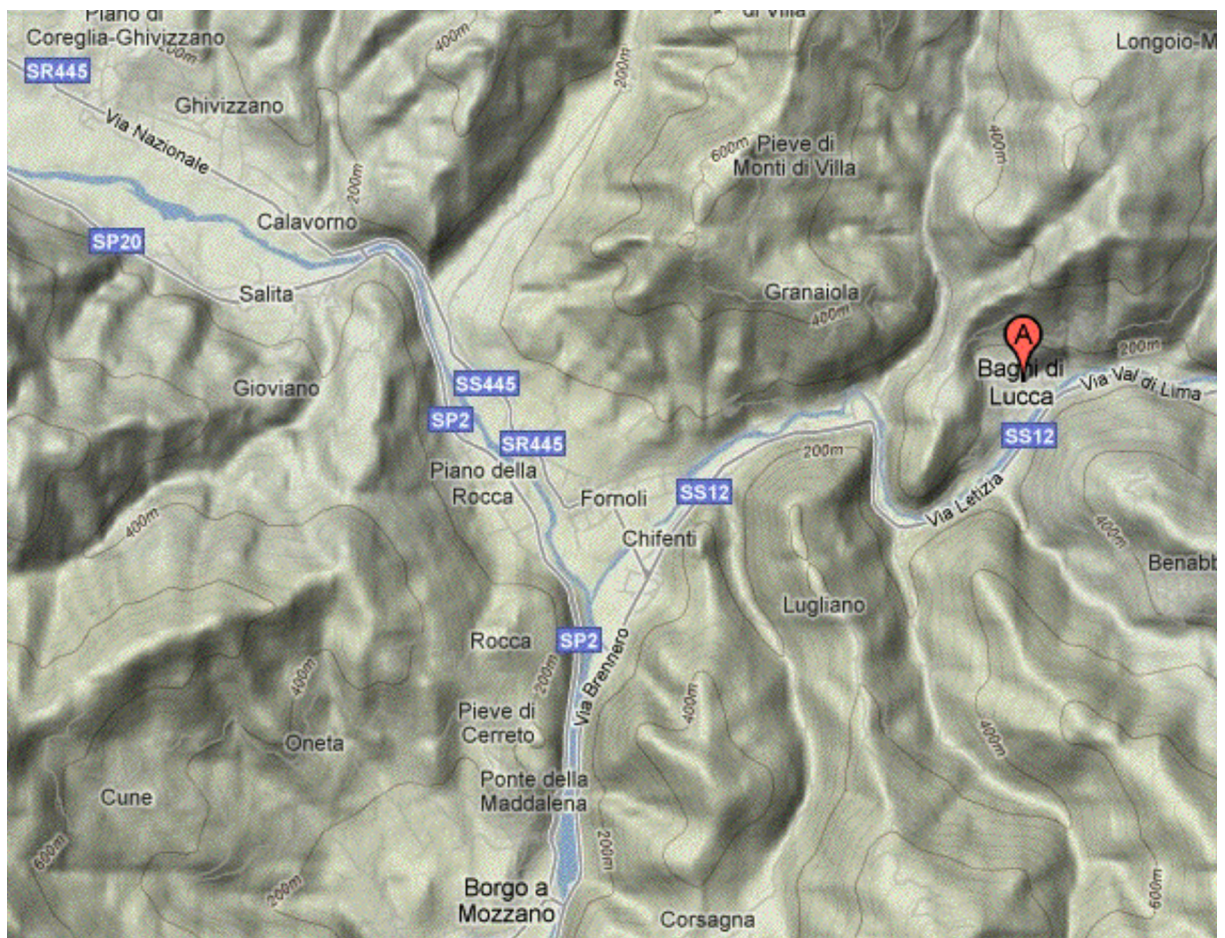
E anche la differenza nelle emissioni di diossine e furani ( PCDD/F ) è notevole: una centrale a biomasse ne emette cento volte di più. Precisiamo che le concentrazioni di diossine e furani sono espresse come tossicità equivalente (I-TEQ) , seguendo una ormai consolidata procedura che permette di confrontare la tossicità di miscele in cui questi composti possono essere presenti con composizioni molto diverse.

## ***Vulnerabilità delle vallate del Serchio e del Lima.***

La ELCE spa è localizzata in una zona pianeggiante, alla confluenza del fiume Serchio e del torrente Lima.

La valle di Fornoli e i fondovalle lungo questi due corsi di acqua sono circondati da colline relativamente alte, oltre i 600 metri, questa condizione orografica, chiaramente illustrata dalla Figura 1, tratta da Google Map e che potrebbe essere definita come struttura a “canyon”, condiziona fortemente la dispersione dei fumi e delle emissioni prodotte lungo i fondovalle ed in particolare nella Piana di Fornoli e a Borgo a Mozzano.

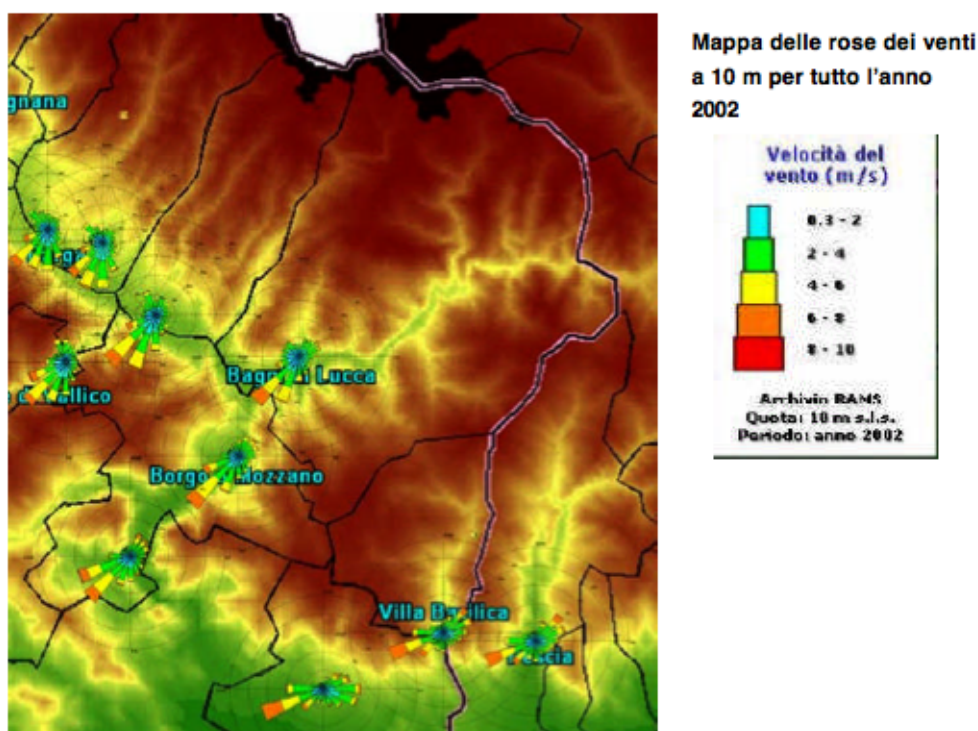
Questa particolarità è già stata evidenziata in diversi studi in particolare ARPAT di Lucca nel 2000.



*FIGURA 1. Orografia delle valli del Serchio e del Lima in corrispondenza della piana di Fornoli*



La direzione prevalente dei venti in questo territorio è stato oggetto di studio condotto nel 2002 e la Figura 2 riporta, in sintesi le “rose dei venti” stimate, su base annuale, in diverse località.



*FIGURA 2. Mapa delle rose dei venti nei comuni di Bagni di Lucca e Borgo a Mozzano registrate nel 2002. Le rose riportano le direzioni di provenienza dei venti e la frequenza di eventi con una determinata velocità del vento.*

La Figura 2 mostra come i venti, lungo la valle del Secchio in prevalenza, abbiano direzione Sud–Sud Ovest e che soffino con direzione parallela alla valle, nel tratto tra Borgo Mozzano e Fornoli, e con direzione sempre parallela alla valle del Lima nel tratto tra Fornoli e ponte a Serraglio, mentre, dopo la piana di Fornoli le direzioni prevalenti sono perpendicolari al percorso del fiume Serchio.

I fenomeni che si possono verificare lungo le vallate dei due fiumi e che potrebbero influenzare negativamente la qualità dell’aria sono:

- incanalamento dei venti lungo le vallate con una minore diluizione dei fumi che sono prodotti all’interno delle vallate e un trasporto a maggiore distanza, rispetto a zone di pianura
- moti convettivi all’interno delle valli per un diverso irraggiamento e una diversa temperatura dell’aria lungo i fianchi della vallata, con persistenza dell’inquinamento in queste zone

- possibili turbolenze nella piana di Fornoli con venti da sud-sud ovest che incanalati lungo la valle del Serchio da Borgo Mozzano entrano nella piana e di qui si possono incanalare sia lungo la valle del Lima e del Serchio.

In base alla direzione dei venti prevalenti (provenienti da Sud Ovest) è probabile che le emissioni dell'ALCE possano coinvolgere le abitazioni sottovento all'impianto lungo la valle del Lima e le possibili turbolenze create dalla complessa orografia potrebbero ostacolare la dispersione degli inquinanti.

In base agli studi condotti, le condizioni meteorologiche che, a Borgo a Mozzano e Bagni di Lucca, potrebbero favorire l'accumulo degli inquinanti hanno una frequenza di accadimento intorno al 20-25% nel corso dell'anno, come è riportato nella Figura 3.

La presenza lungo le due vallate di diverse attività produttive, oltre alla ALCE spa, di due strade ad alta percorrenza (la SS 12 e la SP 2) e di numerose abitazioni, rende questa zona ancora più vulnerabile per il possibile impatto dell'inquinamento complessivamente prodotto lungo le valli, sulla qualità dell'ambiente coinvolto e della salute dei residenti.

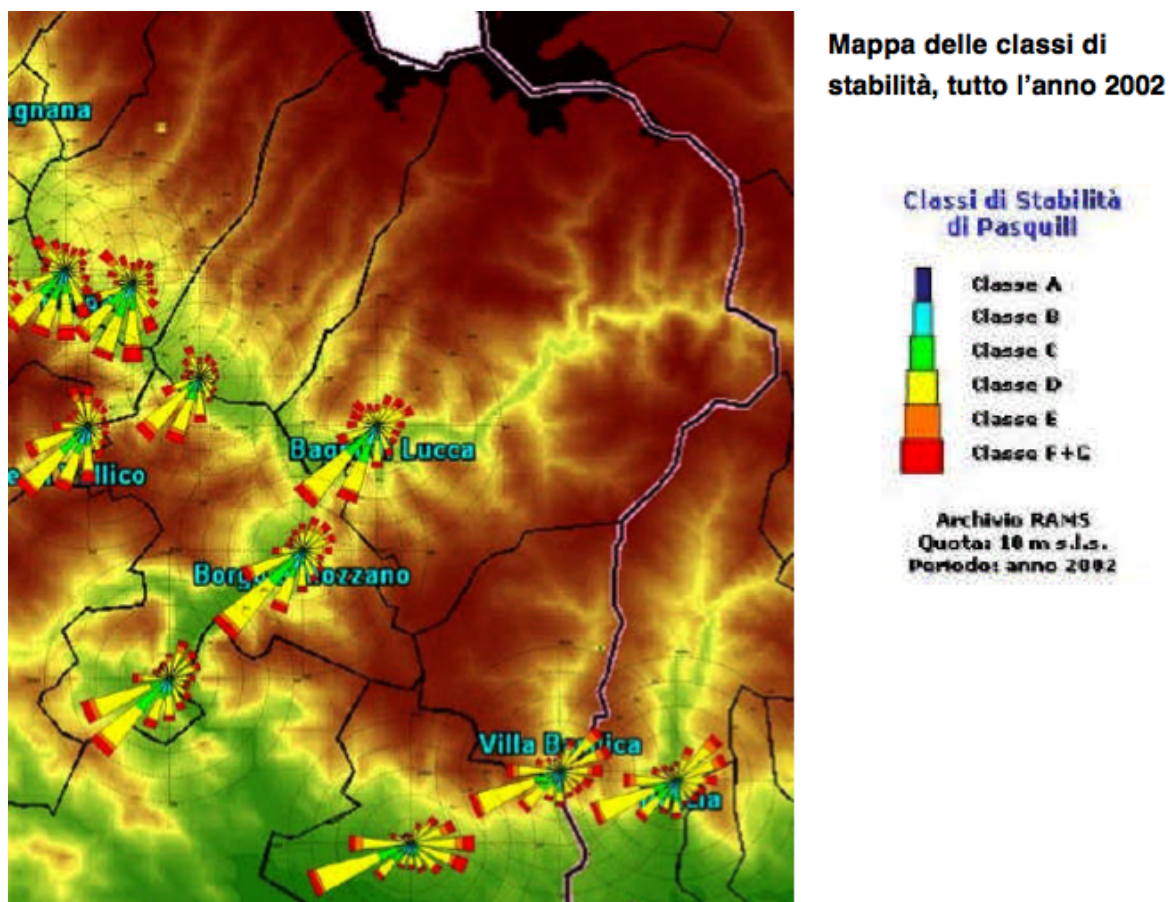


FIGURA 3. Mappa delle classi di stabilità secondo Pasquilli, nel corso del 2002



## Qualità dell'aria

Nonostante una consolidata presenza industriale nei comuni di Borgo a Mozzano e Bagni di Lucca, non esistono campagne di misura dell'inquinamento atmosferico di durata sufficiente a valutare, in questa zona, il rispetto degli obiettivi di qualità dell'aria.

Le uniche campagne di misure di cui siamo a conoscenza sono state effettuate nel 2000 dall'ARPAT di Lucca in tre postazioni: Borgo a Mozzano-località Castri di sotto, Borgo a Mozzano - diga ENEL e a Fornoli – località Belvedere. Questa indagine individuava due principali fonti inquinanti, il traffico veicolare, ritenuto il maggior responsabile dell'alta concentrazione di benzo(a)pirene trovata nella postazione presso la diga ENEL e l'attività della ICL, ritenuta responsabile delle maggiori concentrazioni di SO<sub>2</sub> riscontrata nelle zone monitorate. Durante questa campagna numerose misure di PM<sub>10</sub> risultavano superiori a 40 µg /m<sup>3</sup> e con un caratteristico odore di "legno tostato" che rinviavano ad emissioni della ELCE, ma anche dei numerosi camini a legna, usati nella zona.

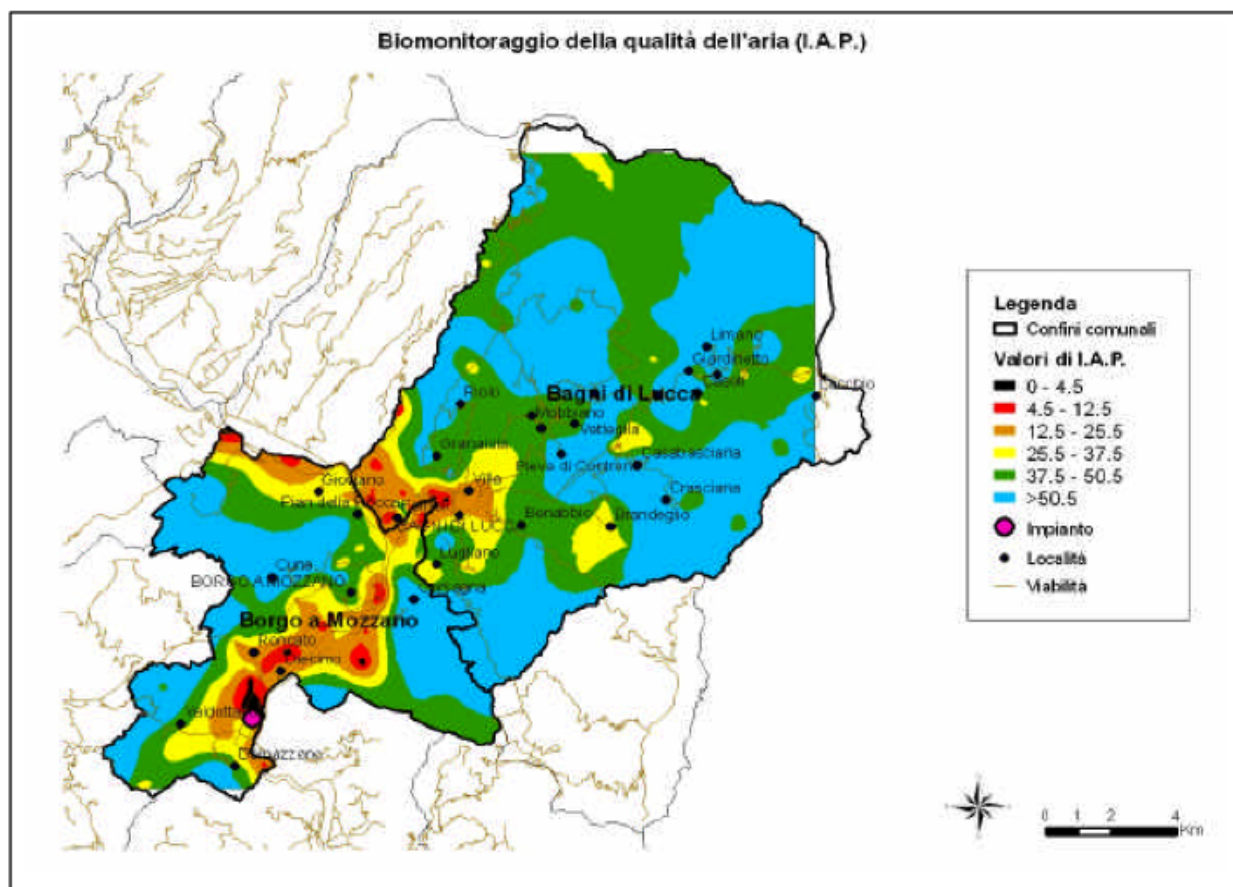
Un'altra campagna di misura è stata effettuata nel 2005 con laboratorio mobile posizionato a Decimo, in via della Torre, dal 25 luglio al 14 agosto 2005 e dal 7 febbraio 2006 al 27 febbraio dello stesso anno. Questo sito, tuttavia, è localizzato lontano dalle aree di nostro interesse e quindi non può essere utilizzato per esprimere pareri sulla qualità dell'aria di Fornoli e d'intorni.

In assenza di misure statisticamente valide riteniamo che possano essere più utili gli studi sulla qualità dell'aria attraverso bioindicatori quali i licheni. Il vantaggio di questi studi è che permettono di monitorare in modo omogeneo e continuativo aree vaste, permettono di mappare gli effetti a lungo termine dell'inquinamento su questi organismi, permettono stime quantitative sulla qualità dell'aria e infine permettono di studiare l'evoluzione nel tempo del fenomeno

L'ultimo studio con bioindicatori nei territori comprendenti Borgo a Mozzano e Bagni di Lucca è stato effettuato nel 2005 e la Figura 4 ne sintetizza i risultati.

## BIOMONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA (S)

Ripartizione del territorio per classe di IAP (Indice di Purezza Atmosferica)



Elaborazione su dati ARPAT –Provincia di Lucca

FIGURA 4 Biomonitoraggio della qualità dell'aria e mappatura degli Indici di Purezza Atmosferica (IAP) registrati nel 2005 nei comuni di Borgo a Mozzano e Bagni di Lucca.

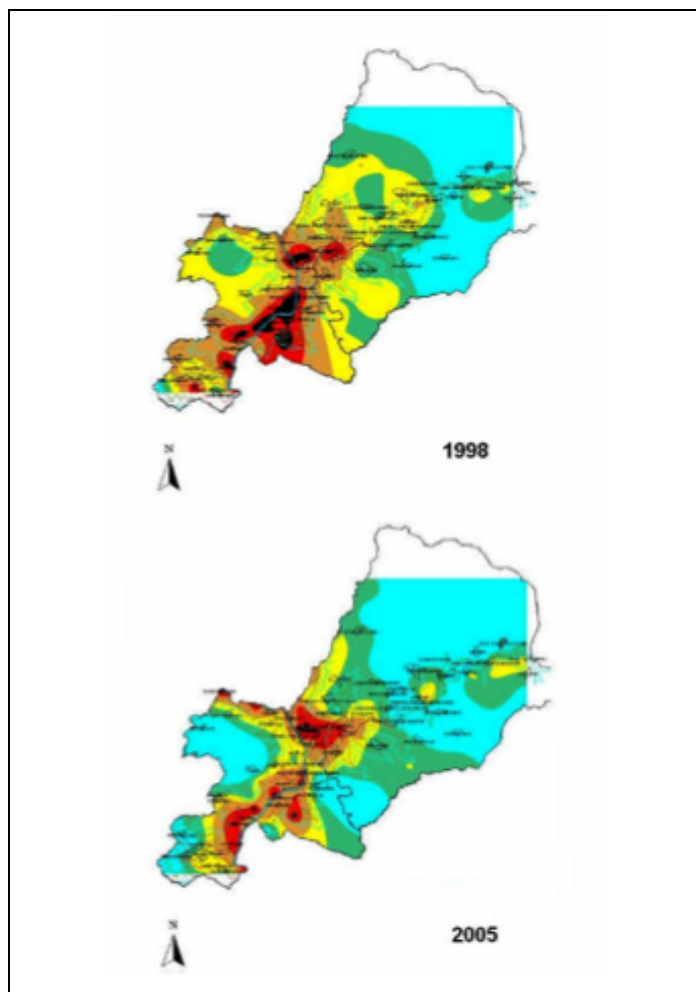


FIGURA 5 Biomonitoraggio della qualità dell'aria a Bagni di Lucca e Borgo a Mozzano, realizzato tramite analisi delle popolazioni licheniche nel 1998 e nel 2005

La Figura 5 permette un confronto dei biomonitoraggi effettuati, con le stesse metodologie, a sette anni di distanza, nel 1998 e nel 2005. Le aree nere e rosse, quelle con gli Indici di Purezza dell'Aria (IAP) più bassi, sono quelle in cui, in base allo stato di "salute" delle popolazioni licheniche trovate, si ipotizza che ci sia la peggiore qualità dell'aria. In particolare le aree nere sono quelle in cui non si sono trovati licheni e questa situazione, definita "deserto lichenico", segnala una pessima qualità dell'aria (con riferimento alla "salute" dei licheni e sono classificate in base all'Indice di Purezza dell'Aria (IAP), in Classe 6: purezza dell'aria molto bassa).

Le misure più recenti, effettuate nel 2005, segnalano un generale miglioramento della qualità dell'aria, rispetto al 1998; questo miglioramento è certamente da attribuire ad un maggiore abbattimento della anidride solforosa da parte della ELCE srl, realizzato a partire del 2000 in base ad accordi con il Ministero dell'Ambiente,

Tuttavia nel 2005 sono ancora presenti “deserti lichenici”, in particolare a Fornoli e a Bagni di Lucca, in località Ponte a Serraglio. Ancora una volta le maggiori responsabilità sono riconducibili alle emissioni della ELCE; è molto probabile che l'inquinamento prodotto nella piana di Fornoli, con venti da SUD sia incanalato lungo la valle del Lima e vada ad impattare sulla collina di fronte a Ponte a Serraglio a causa del repentino cambio di direzione della vallata, proprio in questa zona.

Il deserto lichenico ancora presente a Ponte a Serraglio e la presenza, in questa zona, di numerose abitazioni suggerisce che in questa località dovrebbe essere localizzata una centralina fissa di monitoraggio, finalizzata a tenere sotto controllo le future emissioni della ELCE.

Lungo le colline che circondano la piana e le valli, una maggiore sofferenza lichenica, si registra lungo una fascia di altezza compresa tra i cento e i duecento metri s.l.m.; ad altezze maggiori l'indice di qualità dell'aria migliora sensibilmente. Questo dato ci informa sulla altezza media, in queste zone, dello strato di rimescolamento. In sintesi nelle giornate più sfavorevoli, a causa dell'inversione termica della temperatura dell'aria, l'inquinamento prodotto nel fondovalle rimane intrappolato all'interno dello strato di rimescolamento. Quindi in valli di questo tipo, l'inquinamento prodotto al loro interno non può diffondersi lateralmente e in determinate condizioni meteorologiche (giornate fredde e soleggiate, con calma di vento) è fortemente limitata anche la dispersione verticale.

La mappatura della qualità dell'aria, con i licheni può fornire utili informazioni per identificare le popolazioni a rischio, in base alla loro residenza.

In questo caso l'ARPAT, ha stimato la percentuale di popolazione che nel 2005 abitava in aree di classe IAP 5 e 6, e quindi potenzialmente esposta a livelli di inquinamento relativamente elevati; questa percentuale era pari all'8,2 % della popolazione di Bagni di Lucca (536 abitanti) e al 13 % della popolazione del comune di Borgo a Mezzano (985 abitanti).

A nostro giudizio questa situazione deve essere presa in attenta considerazione quando la ALCE riprenderà la propria attività, in quanto in queste aree ci saranno le massime ricadute delle nuove emissioni.

<b>Ripartizione percentuale della popolazione e della superficie territoriale fra le diverse classi di IAP (Indice di Purezza Atmosferica)</b>						
	<b>Classe 1 (IAP &gt;50,5)</b>	<b>Classe 2 (IAP 37,5- 50,5)</b>	<b>Classe 3 (IAP 25,5- 37,5)</b>	<b>Classe 4 (IAP 12,5- 25,5)</b>	<b>Classe 5 (IAP 4,5- 12,5)</b>	<b>Classe 6 (IAP 0-4,5)</b>
<b>Popolazione (%)</b>						
Bagni di Lucca	25,33	22,75	11,22	32,48	7,69	0,52
Borgo a Mozzano	20,37	15,35	25,37	25,75	12,40	0,75
<b>Superficie (%)</b>						
Bagni di Lucca	50,64	39,44	6,46	2,93	0,50	0,02
Borgo a Mozzano	37,44	26,25	17,69	14,61	3,31	0,70

Tabella: ripartizione percentuale della popolazione residente sul territorio dei comuni di Bagni di Lucca e Borgo a Mozzano classificati in base agli Indici di Purezza Atmosferica

## **Scenari alternativi alla centrale a biomasse**

In base agli obiettivi dichiarati nelle premesse, in questo capitolo illustriamo in grandi linee i possibili scenari in base ai quali la ELCE spa potrebbe continuare ad operare, garantendo un impatto ambientale nettamente inferiore a quello precedente e a quello preventivato.

Lo scenario proposto potrebbe essere così schematizzato

- produzione di tannino con impianto di cogenerazione (elettricità e calore) ad alta efficienza alimentato a gas naturale (metano)
- Fase transitoria (4-5 anni) con commercializzazione del cippato detannizzato
- Realizzazione di una bio-raffineria per la produzione di tannino e biocombustibili (etanolo o gasolio) a partire dal cippato. Fonte di energia per l'impianto: metano (cogenerazione) ed eventuali scarti della lavorazione (usi termici ad alta efficienza).

### **Impianto di cogenerazione a metano e produzione di tannino**

La soluzione che garantirebbe l'immediata ripresa dell'attività della ELCE con il minor impatto ambientale è quello di ricorrere al metano come combustibile, realizzando un impianto di cogenerazione ad alta efficienza, con produzione contemporanea di elettricità e calore.

La scelta del metano è giustificata dall'ampia disponibilità di questo combustibile grazie al vicino metanodotto, dal pregresso uso di questo combustibile presso la ELCE che permetterebbe il riuso di una parte dei suoi impianti, dal basso impatto ambientale di questo combustibile (TABELLA 6), in particolare per quanto riguarda anidride solforosa, polveri sottili, microinquinanti, per l'assenza di ceneri e per la sensibile riduzione di mobilità indotta dal trasporto della biomasse legnosa aggiuntiva a quella di castagno e delle ceneri residuali alla combustione della biomassa.

In quest'ipotesi il dimensionamento dell'impianto di cogenerazione dovrebbe essere tale da garantire la completa copertura dei consumi di elettricità e di calore della ELCE spa che continuerà nell'attività di estrazione di tannino da legno di castagno e nella valorizzazione di questo prodotto.

Questa scelta garantisce una elevata efficienza energetica nell'uso del metano, in quanto i consumi di elettricità e di calore utilizzati per l'estrazione del tannino saranno molto costanti nell'arco dell'anno; oltre a ridurre i costi energetici grazie all'efficienza, con questa scelta la ELCE potrà accedere ai "Certificati Bianchi", previsti dalla nostra normativa per "premiare" economicamente l'efficienza energetica, a prescindere della natura fossile o meno del combustibile usato.

La validità di questa scelta, dal punto di vista degli impatti ambientali e dell'efficienza energetica, è supportata da Analisi di Cicli di Vita quale quello realizzato da Eriksson (Eriksson et

al., 2007a) che afferma che l'uso del metano in un impianto a cogenerazione può essere preferito all'uso di biomasse per una analoga cogenerazione, qualora l'energia elettrica così prodotta sostituisca energia elettrica prodotta bruciando in prevalenza carbone e olio combustibile, come avviene in Italia.

Più in generale, come abbiamo già visto, a parità di energia prodotta, i fattori di emissione di un impianto di cogenerazione a metano sono decisamente più bassi dei fattori di emissione di un impianto di cogenerazione alimentato a biomasse (Tabella 6).

Il vantaggio ambientale del metano è ancora maggiore se si confrontano le emissioni evitate grazie ad un elevato uso del calore prodotto, come avverrebbe nell'impianto di cogenerazione a metano che noi proponiamo, se confrontato con l'ipotesi della "nuova" ELCE convertita a centrale a biomasse, in cui gran parte del calore prodotto insieme all'elettricità sarebbe letteralmente sprecato, in quanto immesso direttamente in atmosfera.

A nostro avviso è opportuno che l'impianto di cogenerazione a metano tenga conto di un'altra possibilità nel suo dimensionamento, quella di fornire calore e "frigorie", tramite teleriscaldamento, ad attività produttive situate nelle vicinanze (lavanderia industriale...).

Questa scelta permetterebbe di ridurre in parte o in toto le emissioni delle caldaie usate per produrre il calore necessario per la propria attività e comunque offre la possibilità di produrre calore con maggiore efficienza e maggiore controllo delle emissioni.. Anche in questo caso, il costante fabbisogno di calore durante tutto l'anno, renderebbe possibile il mantenimento di una alta efficienza energetica del sistema e quindi il conseguimento dei Certificati Bianchi.

Nel caso che, a seguito di questa scelta la produzione di elettricità fosse superiore ai fabbisogni energetici della ELCE, quest'ultima potrebbe comunque essere immessa in rete con riscossione, da parte del gestore, dei relativi crediti.

### **Usi del legno detannizzato, fase transitoria.**

Dalla attività per la produzione di tannino dal legno di castagno che si prevede che la ALCE spa continuerà a realizzare, avanzano 80.000 tonnellate all'anno di cippato di castagno detannizzato.

Escludendo, per i motivi ambientali precedentemente illustrati, la combustione diretta di questa biomassa, sono possibili i seguenti utilizzi, tutti a minor impatto ambientale rispetto alla prevista combustione per produrre elettricità:

- strutturante per impianti di compostaggio e per impianti integrati di fermentazione anaerobica (produzione di biogas e compostaggio dei fanghi residuali alla fermentazione anaerobica)

- cippato per bio-filtri
- alimentazione caldaie a legna dopo essiccazione e imballaggio
- produzione di pannelli per l'edilizia

### ***Legno detannizzato per la bio-raffineria***

- produzione di biocarburante di 2<sup>a</sup> generazione
- prodotto di gas naturale di sintesi

### **Strutturante**

Il cippato detannizzato ha un contenuto di umidità elevato (45 %); questa caratteristica, insieme a quella del basso contenuto di tannino e dell'assenza di trattamenti chimici del legno, consigliano di verificare l'utilizzo di questo cippato come strutturante da utilizzare negli impianti di compostaggio singoli o associati ad impianti di trattamento anaerobico di fanghi, scarti alimentari e di allevamenti.

Nel compostaggio, il cippato è indispensabile in quanto serve per arieggiare la massa da compostare e per fornire carbonio organico alla flora microbica. Queste funzioni garantiscono la ottimale bio-ossidazione dell'intera massa da trattare.

L'eventuale presenza nel cippato di metalli quali il rame derivante da precedenti trattamenti anticrittogamici (alberi da frutta, viti..) e di pesticidi, per analoghi trattamenti delle originarie biomasse, scongiurerebbero l'uso di questo cippato per la produzione di compost di qualità. Anche un elevato contenuto di tannino, a causa dell'effetto batteriostatico di questo composto, ne scongiurerebbe l'uso in impianti di compostaggio. Questi problemi non esistono nel cippato detannizzato prodotto dalla ELCE spa e la sua naturale umidità è assolutamente compatibile con l'uso come strutturante.

Ovviamente, è un elemento positivo, anche ai fini della riduzione dei costi di gestione dell'impianto di compostaggio, che questo sottoprodotto sia in forma di cippato, caratteristica assolutamente obbligatoria per una biomasse da usarsi come strutturante. E la forma di cippato, rispetto a quello originario di ramaglia e tronco è un elemento positivo nelle fasi trasporto e stoccaggio

Negli impianti di compostaggio della frazione organica da produzione urbana il rapporto tra organico da compostare e strutturante è di 2:1.

Nella Provincia di Lucca è in progetto la realizzazione di un impianto di compostaggio nel Comune di Capannoni con una capacità nominale di 50-60.000 tonnellate di frazione organica, al netto della quantità di strutturanti.



Pertanto, 25-30.000 tonnellate di cippato detannizzato prodotto dalla ELCE a Fornoli potrebbe essere utilizzato annualmente nell'impianto di compostaggio di Capannoni, a circa 25 chilometri di distanza.

### **Cippato per il riscaldamento domestico**

L'alto potere calorifico del cippato di legno di castagno è di interesse per alimentare caldaie a legna in sostituzione del pellet. Per quest'uso l'umidità deve essere ridotta all'8 -10 % e questo si può ottenere presso la ELCE con parte del calore prodotto con la cogenerazione.

Esiste un mercato in espansione per l'uso del cippato come combustibile per caldaie e per frigoriferi ad assorbimento. L'uniformità del prodotto e la sua essiccazione dovrebbe poter spuntare prezzi interessanti sul mercato.

### **Pannelli per edilizia**

### **Gasificazione**

### **Bio fuel di seconda generazione**

Bagni di lucca

Fattori di emissioni

Centrali a metano/centrali a legna

(Eriksson et al., 2007b; Finnveden et al., 2005)

#### References

- Allen R W, Mar T, Koenig J, Liu L-J S, Gould T, Simpson C, Larson T, Changes in lung function and airway inflammation among asthmatic children residing in a woodsmoke-impacted urban area. *Inhalation toxicology* 2008;20: 423-433.
- Bari M A, Baumbach G, Kuch B, Scheffknecht G, Wood smoke as a source of particle-phase organic compounds in residential areas. *Atmospheric Environment* 2009;43: 4722-4732.
- Biggeri A, Bellini P, Terracini B, Metanalisi italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico. *Epidemiologia & Prevenzione* 2001;25

- Boman B C, Forsberg A B, Jarvholm B G, Adverse health effects from ambient air pollution in relation to residential wood combustion in modern society. *Scand J Work Environ Health* 2003;29: 251-260.
- Bundt M, Krauss M, Blaser P, Wilcke W, Forest fertilization with wood ash: effect on the distribution and storage of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs). *Journal of environmental quality* 2001;30: 1296-1304.
- Cernuschi S, Giugliano M, Consonni S (2009) Emissioni di polveri fini e ultrafini da impianti di combustione. Access: 2009. <http://www.gecos.polimi.it/wets09/Stefano%20Consonni-FederNano.pdf>
- Enell A, Fuhrman F, Lundin L, Warfvinge P, Thelin G, Polycyclic aromatic hydrocarbons in ash: Determination of total and leachable concentrations. *Environmental Pollution* 2008;152: 285-292.
- Englert N, Fine particles and human health--a review of epidemiological studies. *Toxicology Letters*
- Proceedings of EUROTOX 2003. The XLI European Congress of Toxicology. *Science for Safety* 2004;149: 235-242.
- EPA (2008) Health Effects of Wood Smoke | Cleaner Burning Wood Stoves & Fireplaces | EPA. Access: 2008. <http://www.epa.gov/woodstoves/healtheffects.html>
- Eriksson O, Finnveden G, Ekvall T, Björklund A, Life cycle assessment of fuels for district heating: A comparison of waste incineration, biomass- and natural gas combustion. *Energy Policy* 2007a;35: 1346-1362.
- Eriksson O, Finnveden G, Ekvall T, Björklund A, Life cycle assessment of fuels for district heating: A comparison of waste incineration, biomass- and natural gas combustion. *Energy Policy* 2007b;35: 1346-1362.
- Finnveden G, Johansson J, Lind P, Moberg Å, Life cycle assessment of energy from solid waste-- part 1: general methodology and results. *Journal of Cleaner Production Environmental Assessments and Waste Management* 2005;13: 213-229.
- Galbally I E, Gillett R W, Powell J C, Lawson S J, Bentley S T, Weeks I A, Household wood heater usage and indoor leakage of BTEX in Launceston, Australia: A null result. *Atmospheric Environment* 2009;43: 2788-2795.
- Guo Y, Jia Y, Pan X, Liu L, Wichmann H-E, The association between fine particulate air pollution and hospital emergency room visits for cardiovascular diseases in Beijing, China. *Science of The Total Environment* 2009;407: 4826-4830.
- Gustafson P, 2009, Exposure to some carcinogenic compounds in air, with special reference to wood smoke.
- Gustafson P, Lars B, Bo S, Gerd S, The impact of domestic wood burning on personal, indoor and outdoor levels of 1,3-butadiene, benzene, formaldehyde and acetaldehyde. *Journal of Environmental Monitoring* 2007;9: 23-32.
- Hanell B, Magnusson T, An evaluation of land suitability for forest fertilization with biofuel ash on organic soils in Sweden. *Forest Ecology and Management* 2005;209: 43-55.
- Helfenstein M, Miragoli M, Rohr S, Müller L, Wick P, Mohr M, Gehr P, Rothen-Rutishauser B, Effects of combustion-derived ultrafine particles and manufactured nanoparticles on heart cells in vitro. *Toxicology*
- This issue includes: Proceedings of the Annual Congress of The British Toxicology Society 2008;253: 70-78.
- Hubner C, Boos R, Prey T, In-field measurements of PCDD/F emissions from domestic heating appliances for solid fuels. *Chemosphere* 2005;58: 367-372.
- Johansson L S, Tullin C, Leckner B, Sjövall P, Particle emissions from biomass combustion in small combustors. *Biomass and Bioenergy* 2003;25: 435-446.
- Joller M, Brunner T, Obernberger I, Modeling of aerosol formation during biomass combustion for various furnace and boiler types. *Fuel Processing Technology* 2007;88: 1136-1147.

- Khan A A, de Jong W, Jansens P J, Spliethoff H, Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies. *Fuel Processing Technology* 2009;90: 21-50.
- Kim H, Choi B, The effect of biodiesel and bioethanol blended diesel fuel on nanoparticles and exhaust emissions from CRDI diesel engine. *Renewable Energy* 2010;35: 157-163.
- Kocbach Bølling A, Pagels J, Yttri K E, Barregard L, Sallsten G, Schwarze P E, Boman C, Health effects of residential wood smoke particles: the importance of combustion conditions and physicochemical particle properties. *Particle and Fibre Toxicology* 2009;6: 29.
- Krecl P (2008) Impact of residential wood combustion on urban air quality. Access: 2008.
- Laden F, Schwartz J, Speizer F E, Dockery D W, Reduction in fine particulate air pollution and mortality: Extended follow-up of the Harvard Six Cities study. *American journal of respiratory and critical care medicine* 2006;173: 667-672.
- Laitinen T, Martín S H, Parshintsev J, Hyötyläinen T, Hartonen K, Riekkola M-L, Kulmala M, Pavón J L P, Determination of organic compounds from wood combustion aerosol nanoparticles by different gas chromatographic systems and by aerosol mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 2010;1217: 151-159.
- Lavric E D, Konnov A A, Ruyck J D, Dioxin levels in wood combustion-a review. *Biomass and Bioenergy* 2004;26: 115-145.
- Lavric E D, Konnov A A, Ruyck J D, Modeling the formation of precursors of dioxins during combustion of woody fuel volatiles. *Fuel* 2005;84: 323-334.
- Lee J-T, Son J-Y, Cho Y-S, The adverse effects of fine particle air pollution on respiratory function in the elderly. *Science of The Total Environment* 2007;385: 28-36.
- Löndahl J, Swietlicki E, Pagels J, Massling A, Boman C, Rissler J, Blomberg A, Sandström T, Respiratory tract deposition of particles from biomass combustion. *Journal of Physics: Conference Series* 2009;151: 012066.
- Meyer C P M, Luhar A K, Mitchell R M, Biomass burning emissions over northern Australia constrained by aerosol measurements: I--Modelling the distribution of hourly emissions. *Atmospheric Environment* 2008;42: 1629-1646.
- Naeher L P, Brauer M, Lipsett M, Zelikoff J T, Simpson C D, Koenig J Q, Smith K R, Woodsmoke health effects: a review. *Inhal Toxicol* 2007;19: 67-106.
- Neuberger M, Rabczenko D, Moshhammer H, Extended effects of air pollution on cardiopulmonary mortality in Vienna. *Atmospheric Environment* 2007;41: 8549-8556.
- Orru H, Kaasik M, Merisalu E, Forsberg B, Health impact assessment in case of biofuel peat - Co-use of environmental scenarios and exposure-response functions. *Biomass and Bioenergy* 2009;33: 1080-1086.
- Ostro B D, Hurley S, Lipsett M J, Air Pollution and Daily Mortality in the Coachella Valley, California: A Study of PM10 Dominated by Coarse Particles. *Environmental Research* 1999;81: 231-238.
- Polichetti G, Cocco S, Spinali A, Trimarco V, Nunziata A, Effects of particulate matter (PM10, PM2.5 and PM1) on the cardiovascular system. *Toxicology* 2009;261: 1-8.
- Ramanakumar A V, Parent M E, Siemiatycki J, Risk of lung cancer from residential heating and cooking fuels in Montreal, Canada. *Am J Epidemiol* 2007;165: 634-642.
- RINNE S T, RODAS E J, RINNE M L, SIMPSON J M, GLICKMAN L T, USE OF BIOMASS FUEL IS ASSOCIATED WITH INFANT MORTALITY AND CHILD HEALTH IN TREND ANALYSIS. *Am J Trop Med Hyg* 2007;76: 585-591.
- Saez F, Cabanas A, Gonzalez A, Murillo J M, Martinez J M, Rodriguez J J, Dorronsoro J L, Cascade Impactor Sampling to measure Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Biomass Combustion Processes. *Biosystems Engineering* 2003;86: 103-111.
- Sharma H S, Sharma A, 2007, Nanoparticles aggravate heat stress induced cognitive deficits, blood-brain barrier disruption, edema formation and brain pathology  
*Progress in Brain Research, in H. S. Sharma, ed., Neurobiology of Hyperthermia, Elsevier, p. 245-273.*

Trozzi C (2009) EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - Air pollution EEA.  
Access: 2009. <http://www.eea.europa.eu/themes/air/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook>

Venkataraman C, Negi G, Brata Sardar S, Rastogi R, Size distributions of polycyclic aromatic hydrocarbons in aerosol emissions from biofuel combustion. Journal of Aerosol Science 2002;33: 503-518.