



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

**"VALUTAZIONE DI IMPATTO SULLA SALUTE
CUNICOLO ESPLORATIVO DE LA MADDALENA"**

CUP C11J05000030001

RELAZIONE DI FINE ATTIVITA'

Prof. Enrico Pira

ID_VIP:1544. Cunicolo Esplorativo de La Maddalena in Comune di Chiomonte (TO) Verifica di Ottemperanza alla prescrizione n.63 della Delibera CIPE 86/2010.

1



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

EXECUTIVE SUMMARY

A seguito di stipula di rapporto convenzionale fra l'Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze della Sanità Pubblica e Pediatriche, e la Società LTF (ora TELT) è stato definito un progetto di collaborazione dal titolo "Valutazione di impatto sulla salute: galleria geognostica de La Maddalena" (di seguito anche "VIS"). La relazione che segue rappresenta il compendio di tutte le attività condotte dal febbraio 2015 al maggio 2018.

Il modello generale di riferimento per la valutazione di impatto sulla salute delle attività inerenti la costruzione della cunicolo esplorativo de La Maddalena si è basato su un percorso suddiviso in tre differenti fasi. Nella fase di Screening è stato costituito un gruppo di lavoro che comprende esperti nei settori della Tossicologia, della Medicina del Lavoro e della Epidemiologia, coordinato dal Prof. Enrico Pira; sono state poi definite le modalità operative per l'individuazione delle tipologie di impatto che, nell'opera in esame, riguardano effetti sia a breve sia a lungo termine, diretti e indiretti, tenendo conto delle indicazioni fornite dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) nel rapporto del 08.05.2014 (Valutazione di Impatto sulla salute, TAV Torino-Lione, tratta internazionale. Cunicolo La Maddalena. Espressione parere).

E' seguita la raccolta delle informazioni essenziali ed indispensabili per la realizzazione del mandato, con particolare riferimento all'ubicazione, costruzione, esercizio del cantiere, smantellamento dello stesso e ripristino del sito.

Nella fase di Scoping sono stati identificati gli obiettivi di tutela della salute e la metodologia da adottare per raggiungere gli scopi prefissati. Obiettivi e metodologia operativa hanno beneficiato delle attività di misura ed analisi poste in essere alla data di stipula della Convenzione, confrontando i dati resi disponibili da TELT e verificati dagli Enti di Controllo Regionale.

La fase di Assessment, la più complessa, è risultata composta e caratterizzata da momenti differenti, ovvero: l'identificazione dei pericoli allo studio e dei potenziali eventi avversi ad essi associati, la valutazione della relazione dose-risposta (tra esposizione ed evento avverso) così come emergente dalle informazioni di letteratura, la valutazione delle esposizioni allo studio, e infine la stima (caratterizzazione) del rischio (impatto) per i pericoli allo studio.

Questa fase è partita dalla caratterizzazione delle componenti ambientali e dei relativi indicatori di qualità, mediante un'analisi accurata della letteratura (per l'analisi nel dettaglio delle singole componenti si fa riferimento alle relazioni di attività prodotte per tutta la durata della convenzione).



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

All'analisi generale ha fatto seguito la loro quantificazione nel tempo e nello spazio, in particolar modo in riferimento ai potenziali effetti descritti in letteratura.

Nella presente relazione, dopo aver brevemente descritto le caratteristiche del cantiere de La Maddalena, troviamo sia il riepilogo dell'esame dei dati relativi alle componenti ambientali monitorate secondo quanto previsto nel Piano di Monitoraggio Ambientale (PMA) nelle aree di potenziale impatto del cantiere al fine di individuare eventuali modificazioni delle condizioni preesistenti in grado di determinare un'alterazione dello stato di salute della popolazione, sia la raccolta di dati su eventi sanitari al fine di definire lo stato di salute *ante-operam* della popolazione residente nei Comuni limitrofi al cantiere. Per l'analisi nel dettaglio delle singole componenti si fa riferimento alle relazioni di attività prodotte per tutta la durata della convenzione.

Sono stati analizzati i dati di monitoraggio ambientale sulle operazioni di scavo del cunicolo esplorativo de La Maddalena, con particolare riferimento alla situazione esterna al cantiere, sia su campionamenti condotti *ante-operam* in modo sistematico dal gennaio al dicembre 2012, sia in corso d'opera dal gennaio 2013 al dicembre 2017, che ha visto la fine dello scavo e lo smontaggio della TBM nei primi mesi del 2018, con oltre 75.000 misure delle quali oltre 2.700 per la componente amianto, oltre 40.000 per quanto riguarda PM 2.5/10, circa 700 per la componente rumore (rumore cantiere e rumore traffico), 121 rilievi per le vibrazioni, circa 700 per quanto riguarda le emissioni di particelle α e circa 700 per le particelle β , 121 per l'attività γ , ed infine 1.388 misure per le concentrazioni di Gas Radon.

Per la componente atmosfera la situazione in corso d'opera risulta sovrapponibile alla situazione *ante-operam*. Per il particolato aerodisperso solo nella stazione di rilevamento A5.4-Frazione La Maddalena sono stati registrati, nel corso del 2013, 50 superamenti del valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, rispetto ai 35 consentiti dalla norma per gli ambienti di vita, mentre negli altri punti di campionamento non è stato raggiunto il numero complessivo di "sforamenti" annuali previsto dalla normativa e nel complesso le concentrazioni medie annuali della fase di cantiere sono state sostanzialmente sovrapponibili alle concentrazioni medie rilevate nella fase *ante-operam* sulle medesime stazioni di monitoraggio. In tutte le campagne non si sono registrati, per gli inquinanti che monitorano la qualità dell'aria (CO, SO₂, NO_x, NO₂, Benzene, Ozono), significativi scostamenti dalle concentrazioni ambientali né rispetto alle soglie ambientali di legge né rispetto alla situazione *ante-operam*. Sovrapponibile risulta inoltre l'andamento dei dati di monitoraggio per la componente atmosfera tra la fase di scavo e la fase successiva alla fine di esso.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Per quanto riguarda l'amianto si segnala un solo, minimo, superamento del valore limite consigliato per la qualità dell'aria nelle città europee per tutela della popolazione (WHO 2006 Air quality guidelines) in data 23/01/2014 presso la stazione A5.C - perimetro cantiere, comunque contenuto entro le 2 ff/L che è il valore limite per la restituibilità dei siti contaminati. Ad oggi non si sono verificati ulteriori episodi di superamento.

Per quanto riguarda l'indicatore rumore di cantiere, si sono dimostrati sostanzialmente invariati durante tutta la fase di corso d'opera, anche dopo la fine dello scavo, i superamenti diurni e notturni dei limiti fissati dalle autorità locali in base alle disposizioni del DPCM 14/11/1997, differenziati in base alla zona di appartenenza. Tali superamenti risultano attribuibili sostanzialmente ad immissioni acustiche da fonti antropiche e ambientali della zona. Dalle indagini condotte nella fase di corso d'opera è risultato inoltre che una quota dei livelli acustici registrati in uno dei punti recettori del monitoraggio (A5.23- Borgata Clarea) fosse da attribuire anche alle lavorazioni del cantiere, in particolare per l'utilizzo del nastro trasportatore per la movimentazione dello smarino dal fronte di scavo alle piazzole di deposito temporaneo, per cui sono state attuate tutte le possibili insonorizzazioni dell'impianto. Non essendo possibili ulteriori interventi di mitigazione della componente dovuta all'attività di cantiere, nel giugno 2016 è stata approvata una deroga con pratica SUAP n. 1030/2016 Provvedimento Autorizzativo unico n. 232 del 06/06/2017 per la staz. A5.23.

E' stato inoltre monitorato l'indicatore rumore da traffico e non si sono evidenziati scostamenti, durante tutte le fasi di cantiere, rispetto ai valori registrati nella fase *ante-operam*.

Il monitoraggio delle vibrazioni non ha rilevato superamenti sia delle soglie limite stabilite per le abitazioni dalla normativa UNI 9614 per la misura delle vibrazioni negli edifici e la valutazione del disturbo, sia dei valori limite disposti dalla normativa UNI 9916 per edifici residenziali e costruzioni simili durante il corso degli anni 2014, 2015 e 2016, 2017. Durante una particolare attività di scavo del cunicolo con martellone e lavorazioni di consolidamento del terreno sull'area del sito di deponia si è registrato nel 2013 presso la stazione A5.4 – Museo Maddalena un lieve superamento della soglia riferita al periodo diurno per le abitazioni. Non si configura quindi globalmente una situazione di criticità per la salute della popolazione.

Con riferimento al monitoraggio delle radiazioni ionizzanti, negli anni di corso d'opera non si sono riscontrati superamenti dei livelli di intervento ambientale stabiliti nel PMA per l'emissione di particelle α e β . Analogamente, i valori rilevati per l'attività γ sono sempre risultati ampiamente inferiori ai valori stabiliti. I valori medi delle concentrazioni di Radon nel corso degli anni 2013-



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

2014 si sono ampiamente attestati al di sotto del livello di attenzione ambientale stabilito nel PMA: ciò ha portato alla sospensione del monitoraggio del Radon (con il parere favorevole degli Enti di controllo) nell'anno 2015.

Dal monitoraggio delle acque superficiali e sotterranee non si sono evidenziati particolari scostamenti da quella che era stata la caratterizzazione iniziale in fase *ante-operam*.

Il complesso dei dati esaminati è, al momento, indicativo di una situazione invariata per quanto riguarda i livelli di qualità delle componenti ambientali monitorate (con riferimento ai potenziali effetti sulla salute della popolazione), le quali risultano non modificate rispetto alla fase *ante-operam*, con dati relativi a tali componenti e agli indicatori di qualità che risultano nella maggioranza dei casi contenuti entro i limiti proposti dalla Comunità Scientifica e verificati dagli Enti di Controllo preposti.

Parallelamente alla valutazione dei dati relativi agli indicatori di qualità per le differenti componenti ambientali è proceduta la raccolta e analisi dei dati sanitari per la definizione dello stato di salute *ante-operam* della popolazione potenzialmente coinvolta.

In proposito, sono state condotte attività prevalentemente tese alla identificazione dei dati anagrafici e sanitari disponibili e a definire il contesto generale (Regione Piemonte, Provincia di Torino, Distretto di Susa) in cui l'opera si inserisce (a titolo esemplificativo: dati di mortalità e di ricovero pubblicati dall'Osservatorio Epidemiologico Regionale, nonché i dati di mortalità, per i periodi 2000-2003, 2008-2012 e 2013-2014, ultimi dati completi disponibili, e di ricovero, per i periodi 2001-2005, 2008-2012 e 2013-2016, ultimi dati completi disponibili, a livello comunale messi a disposizione dalla ASL e dal Centro DoRS), dati ampiamente analizzati e riportati nelle precedenti relazioni.

Da tali dati, complessivamente, si ricava come nel contesto Regionale l'area di interesse riguardante i Comuni potenzialmente coinvolti dall'opera presenti una variazione degli indicatori di rischio di mortalità che rientra all'interno di quella che può essere definita come la naturale variabilità statistica del panorama di rischio regionale, e i tassi di ricovero nella fase *ante-operam* non appaiono aumentati rispetto al tasso di riferimento regionale.

Per quanto riguarda i dati a livello comunale, l'occorrenza sporadica (o assenza) di qualche caso di patologia può essere sufficiente a generare indicatori di rischio relativo elevati (o, per converso, assenza di rischi) che possono risultare anche statisticamente significativi, ma l'interpretazione di questi risultati, in senso positivo o negativo, risente della scarsa base statistica dovuta al limitato



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

numero di cittadini residenti nei comuni maggiormente interessati dall'opera. La mancanza di consistenza e ricorrenza di tali eccessi (o difetti) di rischio per Comune, per periodo, per sesso, oltre che per patologia, rende difficile una interpretazione dei dati in correlazione con le variabili ambientali rilevate, ma non è indicativa, al momento, di una situazione che richieda una particolare attenzione per il periodo esaminato, sia per quanto riguarda la situazione di partenza *ante-operam*, sia per la fase di corso d'opera fin qui monitorata. Merita comunque attenzione nel prossimo futuro il dato di mortalità per il totale dei tumori nei soli maschi osservato a Susa (eccesso però non presente né nelle femmine, né nei ricoveri di entrambi i sessi, nello stesso periodo monitorato).

In questo contesto di variabilità assai elevata (per periodo, sesso, territorio, patologia) non sono proponibili interpretazioni basate su criteri di certezza, anche per il breve periodo di osservazione dell'opera in corso (un solo anno per la mortalità e due soli anni per i ricoveri), e diventa quindi indispensabile continuare nei successivi bienni il monitoraggio dei dati sanitari.

I dati raccolti relativi agli eventi sanitari per effetti sia a breve sia a lungo termine costituiscono la base per il confronto con i dati che saranno progressivamente messi a disposizione dalle stesse fonti informative istituzionali a seguito della realizzazione dell'opera.

Acquisiti tutti i dati di monitoraggio, valutato l'andamento di esposizione tra *ante-operam* e corso d'opera, acquisiti inoltre tutti i dati sanitari disponibili, si è proceduto, nella seconda parte dell'attività relativa alla fase di assessment della valutazione di impatto sulla salute per il cunicolo esplorativo de "La Maddalena", alla stima (caratterizzazione) del rischio (impatto) per i pericoli allo studio.

Il confronto tra i valori degli inquinanti rilevati in corso d'opera e quelli rilevati *ante operam* ha evidenziato che quanto rilevato in termini numerici prima della realizzazione dell'opera è per la maggioranza degli inquinanti e per la maggior parte dei siti di rilevazione superiore a quanto registrato durante le fasi di scavo del tunnel. Se si escludono i casi del berillio, del benzene, e del NO₂, per tutti gli altri inquinanti monitorati si osserva una differenza negativa tra i valori rilevati durante lo scavo e quelli rilevati prima dell'opera. Con riferimento invece al PM₁₀ si osservano variazioni negative in tutte le stazioni ad esclusione di Giaglione, dove i valori *ante operam* sono inferiori a quelli rilevati durante l'esecuzione dello scavo.

In tale contesto chi scrive ritiene che le variazioni degli inquinanti osservate durante lo scavo (rispetto ai valori prima dello scavo) non possano essere ricondotte alle attività di scavo ma



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

debbano essere interpretate come variabilità naturale (nel senso di “non attribuibile alla costruzione del tunnel”) del fenomeno. Questa considerazione sarebbe di per sé sufficiente a far terminare qui il percorso di valutazione di impatto sulla salute.

Considerato però anche il valore metodologico delle attività condotte si è voluto comunque fornire un esempio numerico delle conseguenze delle attività di valutazione di impatto, selezionando come rappresentative di un eventuale effetto delle attività di scavo le uniche situazioni in cui si è osservato un aumento della esposizione (berillio, benzene, PM_{10} , NO_2), nell'ipotesi che tale aumento costituisca (in termini di maggiore inquinamento) l'esito dell'opera, anche se così come le diminuzioni di inquinamento non sono riconducibili allo scavo altrettanto si deve ritenere per i modesti scostamenti in aumento.

Per il berillio, l'esercizio ha mostrato un rischio cancerogeno largamente inferiore a 10^{-6} e un rischio tossicologico largamente inferiore ad 1; per il benzene, l'esercizio condotto ha evidenziato un rischio cancerogeno appena superiore a 10^{-6} (ma inferiore a 10^{-5}) e un rischio tossicologico largamente inferiore ad 1. Per il PM_{10} , l'esercizio ha mostrato che (per l'aumento di esposizione indicata) il numero di casi attesi ogni anno a Giaglione è dell'ordine di qualche centesimo di caso per la patologia più frequente tra quelle segnalate dalla letteratura (mortalità naturale, mortalità respiratoria, mortalità cardiovascolare, ricoveri respiratori). Per il $PM_{2.5}$ sempre a Giaglione (con riferimento alla mortalità per tumori del polmone, e ai ricoveri respiratori) l'esercizio ha mostrato che il numero di casi attesi ogni anno è dell'ordine di qualche centesimo di caso, mentre con riferimento alla mortalità naturale il numero di casi attesi ogni anno è dell'ordine di qualche decimo di caso. Infine, per quanto riguarda NO_2 , l'esercizio ha mostrato che il numero di casi attesi ogni anno a Susa è dell'ordine di qualche centesimo di caso per la mortalità naturale (ovviamente molti di meno sono i casi attesi a Chiomonte) e di qualche decimo di caso per i ricoveri respiratori (qualche centesimo a Chiomonte).

7



INTRODUZIONE

A seguito di stipula di rapporto convenzionale fra l'Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze della Sanità Pubblica e Pediatriche, e la Società LTF (ora TELT) è stato definito un progetto di collaborazione dal titolo "Valutazione di impatto sulla salute: galleria geognostica de La Maddalena".

Tale progetto prevede una serie di attività, dettagliatamente indicate nell'Allegato A, quali:

- ✓ raccolta e catalogazione dei materiali (disposizioni legislative, piani e programmi inerenti il settore e l'investimento);
- ✓ raccolta delle informazioni preliminari circa il progetto e suo inquadramento rispetto al sistema di area vasta;
- ✓ individuazione e caratterizzazione degli indicatori di qualità delle componenti ambientali e loro scansione temporale nelle diverse fasi dell'opera (*ante-operam*, fase di cantiere, fase di esercizio);
- ✓ individuazione e quantificazione dei fattori fisici e chimici prodotti ed esame della letteratura sull'esposizione;
- ✓ identificazione dell'area allo studio, della popolazione coinvolta ed eventuali sottopopolazioni sensibili, caratterizzazione del profilo della popolazione;
- ✓ individuazione degli effetti potenziali sulla salute causati/associati ai fattori fisici e chimici precedentemente identificati con esame della letteratura sugli effetti della salute;
- ✓ individuazione dei determinanti di salute da considerare e studio della letteratura; valutazione dello stato della popolazione *ante-operam*, eventuale elaborazione dei dati raccolti e definizione di ulteriori dati da raccogliere;
- ✓ stima di eventi critici sulla salute della popolazione coinvolta nella fase di cantiere attraverso l'applicazione degli approcci tossicologico ed epidemiologico e quantificazione degli eventi attesi;
- ✓ ripetizione dei procedimenti per la fase di esercizio con quantificazione degli eventi attesi a breve e lungo termine;
- ✓ individuazione di misure correttive, di mitigazione, di miglioramento, con riferimento agli effetti sulla salute;
- ✓ specificatamente per le varie fasi dell'opera:



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

- indicazioni per il monitoraggio dei fattori di pressione/esposizione nelle varie fasi;
- indicazioni per il monitoraggio dello stato di salute delle popolazioni nelle varie fasi;
- indicazioni per il monitoraggio dei determinanti dello stato di salute nelle varie fasi;
- confronto tra i valori predetti e i valori osservati nelle varie fasi ed eventuali proposte di intervento, dettagliatamente indicate nell'Allegato A, cui si rimanda.

Sintesi delle attività nell'ambito dello studio di VIS:

- Febbraio 2015: stipula della convenzione
- Marzo 2015: incontro pubblico nei locali del sito per discussione dell'iniziativa con tutte le parti pubbliche e private coinvolte nella realizzazione dell'opera. In particolare hanno contribuito all'incontro rappresentanti dell'Azienda Sanitaria Locale, dell'ARPA Piemonte, e personale tecnico che su incarico di TELT, e sotto controllo degli Enti Pubblici, si occupa dell'esecuzione del monitoraggio ambientale, nonché Sindaci dei comuni coinvolti nell'opera e loro rappresentanti. Nel corso della riunione il personale tecnico di TELT ha illustrato la situazione di avanzamento degli scavi del cunicolo esplorativo, le metodiche del sistema di monitoraggio interno ed esterno al cantiere e i loro risultati. A seguire ARPA Piemonte ha illustrato l'analisi sui dati di monitoraggio dell'Azienda con presentazione dei propri report periodici, accompagnati da eventuali approfondimenti ove necessari, e il sistema di campionamento in parallelo effettuato da ARPA. Un rappresentante dell'Azienda Sanitaria Locale ha poi illustrato il lavoro di vigilanza per la prevenzione e sicurezza negli ambienti di lavoro, tramite sopralluoghi ispettivi nel sito e monitoraggio. Infine l'Università di Torino ha presentato il proprio percorso di lavoro per l'elaborazione di una VIS, illustrando il contesto normativo di riferimento che ha portato alla stipula della convenzione tra l'Azienda e l'Università di Torino, e le varie fasi metodologiche di studio.
- Giugno 2015: prima relazione di attività da parte dell'Università di Torino. La relazione è stata presentata alla presenza dei Sindaci di Chiomonte e Giaglione, e personale tecnico che, su incarico dell'Azienda, e sotto controllo degli Enti Pubblici, si occupa delle campagne di misura. In particolare si sono affrontati e discussi i seguenti temi:
 - ✓ presentazione del gruppo di lavoro VIS dell'Università di Torino;



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

- ✓ illustrazione in dettaglio delle modalità di studio ed analisi; discussione preliminare dei dati disponibili;
 - ✓ presentazione del lavoro di descrizione dei fattori fisici e chimici connessi alle attività di cantiere e loro potenziali effetti sulla salute, valori limite per ambienti di vita e di lavoro;
 - ✓ descrizione e analisi dei dati sanitari reperiti sui siti istituzionali della Regione Piemonte: illustrazione delle fonti utilizzate, approfondimento sui dati sanitari *ante-operam*;
 - ✓ prospetto delle attività da svolgere nei mesi successivi;
 - ✓ constatazione della necessità di costituzione di un gruppo di lavoro di supporto all'attività scientifica dell'Università di Torino, composta da "esperti del territorio" da individuare a discrezione dei Sindaci dei comuni interessati e dell'Azienda Sanitaria Locale e, se possibile, da un membro dell'ARPA Piemonte.
- Novembre 2015: seconda relazione semestrale di attività. La relazione è stata presentata all'incontro alla presenza di rappresentanti dell'Arpa Piemonte, e personale tecnico che su incarico di TELT, e sotto controllo degli Enti Pubblici, si occupa dell'esecuzione del Monitoraggio Ambientale, nonché i Sindaci dei comuni coinvolti nell'opera e loro rappresentanti, un rappresentante dell'assessorato ai trasporti della Regione Piemonte, rappresentanti delle Forze dell'Ordine, un rappresentante del commissario di governo. Durante l'incontro si sono affrontati e discussi i seguenti temi:
- ✓ presentazione della relazione annuale del gruppo di lavoro VIS dell'Università di Torino;
 - ✓ illustrazione dell'analisi dei dati di monitoraggio ambientale sulle operazioni di scavo del cunicolo esplorativo de La Maddalena, e valutazioni complessive dei dati esaminati;
 - ✓ loro confronto con la fase *ante-operam*;
 - ✓ presentazione preliminare dei dati sanitari attualmente disponibili e reperiti presso l'ASL di competenza.

A seguito della riunione è stata definita la composizione del gruppo di esperti locali (riportata in Allegato) quali conoscitori delle diverse realtà del territorio di interesse in accordo con le Linee Guida Regionali. Un rappresentante nominato da ARPA Piemonte potrà partecipare come osservatore esterno alle riunioni collegiali fra gruppo di lavoro dell'Università di Torino e gruppo degli esperti locali.

10



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

In allegato 2 sono compresi i certificati di accreditamento dell'Ente Italiano di Accreditamento (ACCREDIA) delle società incaricate da TELT per l'esecuzione del Monitoraggio Ambientale, rappresentate dal Raggruppamento di Imprese THEOLAB spa, GEO ENGINEERING srl, di cui EDF-Fenice spa è capogruppo, il certificato di qualificazione del Laboratorio SCDU di Tossicologia ed Epidemiologia Industriale che effettua la determinazione quali-quantitativa delle fibre di amianto, il Piano di Assicurazione della Qualità di THEOLAB spa e il Manuale della Qualità della divisione ambiente di EDF-Fenice spa.

- Luglio 2016: terza relazione semestrale. Analisi dei dati sanitari. Incontro di aggiornamento sulle attività in corso per la VIS del Cunicolo Esplorativo de La Maddalena, con particolare riferimento ai dati di esposizione e ai dati sanitari disponibili, svoltosi presso il Presidio Ospedaliero CTO, sezione di Medicina del Lavoro dell'Università di Torino, a cui hanno partecipato un rappresentante dell'Arpa Piemonte, personale tecnico dell'Azienda, un rappresentante dello SPRESAL Asl TO3, il commissario di governo e un suo rappresentate, rappresentanti dei comuni coinvolti nell'opera. Durante l'incontro si sono affrontati e discussi i seguenti temi: presentazione e commento generale con il Comitato di Esperti della relazione semestrale, descrizione e analisi dei dati sanitari reperiti sui siti istituzionali della Regione Piemonte, discussione delle più opportune metodiche di comunicazione al pubblico dei documenti presentati, necessità di produrre un documento unico, per eventuale pubblicazione, su tutto il lavoro svolto dall'Università di Torino, necessità di estendere l'attività di monitoraggio e VIS anche all'opera principale, e annuncio di un futuro ridisegno del progetto principale, con conseguenti eventuali modifiche delle aree interessate per l'analisi dei dati sanitari.
- Dicembre 2016: quarta relazione semestrale.
- Maggio 2017: Su segnalazione di alcuni componenti del comitato di Esperti Locali, si è venuti a conoscenza dell'esistenza di un manifesto informativo firmato da molti Medici di Medicina Generale della Val Susa ed affisso in molti studi medici in cui venivano prospettati una serie di potenziali effetti dannosi sulla salute riferibili alla messa in opera delle attività di cantiere. Alla luce dei dati disponibili, queste ipotesi sono destituite di ogni fondamento e pertanto si è ritenuto opportuno organizzare, sotto l'egida dell'Ordine dei Medici di Torino, un incontro con una delegazione dei Medici di Medicina Generale della



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Valle ai fini di illustrare il quadro completo dei dati di monitoraggio in confronto con eventuali informazioni oggettive rese disponibili dai Medici di Medicina Generale, in modo da comprendere su quali basi fossero state generate le comunicazioni contenute nel manifesto.

Nel maggio 2017 è stato organizzato l'incontro, presso la sede dell'Ordine dei Medici di Torino, tra i rappresentanti dell'Università di Torino e la delegazione dei Medici di Medicina Generale della Val Susa, presieduto dal Presidente dell'Ordine dei Medici che ha auspicato la formazione di un Tavolo Tecnico. Ad esito della discussione si è convenuto di estendere il monitoraggio epidemiologico a patologie neppure potenzialmente riferibili ai lavori in corso, ma presumibilmente utili alla impostazione di politiche sanitarie in questa zona geografica.

- Luglio 2017: aggiornamento semestrale;
- Dicembre 2017: incontro di aggiornamento sulle attività in corso per la VIS del Cunicolo Esplorativo de La Maddalena, con particolare riferimento agli ultimi dati di esposizione relativi alla fine del periodo di scavo, ai nuovi dati sanitari disponibili e alla presentazione della metodologia utilizzata per le prime stime di impatto, svoltosi presso la sede del cantiere di Chiomonte. Hanno partecipato all'incontro rappresentanti dell'Arpa Piemonte, e personale tecnico che su incarico di TELT, e sotto controllo degli Enti Pubblici, si occupa dell'esecuzione del Monitoraggio Ambientale, alcuni Sindaci e rappresentanti dei comuni coinvolti nell'opera e loro rappresentanti, rappresentanti dello SPRESAL Asl TO3, un rappresentante del commissario di governo.
- Luglio 2018: presentazione della relazione finale di attività con stime di impatto.



VALUTAZIONE DI IMPATTO SULLA SALUTE (VIS):
FASE DI SCREENING E SCOPING

Il modello generale di riferimento per la valutazione di impatto sulla salute delle attività inerenti la costruzione della cunicolo esplorativo de La Maddalena si basa su un percorso suddiviso in tre fasi:

- Screening
- Scoping
- Assessment (o Valutazione del Rischio)

Le modalità operative sono state definite tenendo conto delle indicazioni fornite dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) nel rapporto del 08.05.2014 (Valutazione di Impatto sulla salute, TAV Torino-Lione, tratta internazionale. Cunicolo La Maddalena. Espressione parere) nel quale vengono indicati alcuni elementi relativamente alle fasi di Screening, di Scoping, e di Assessment della VIS, quali:

- ✓ la costituzione di un gruppo di lavoro misto composto da esperti e da conoscitori diretti della realtà locale, la condivisione della metodologia di approccio (compresi gli obiettivi di tutela della salute) con Enti di controllo e con la popolazione interessata (comuni, gruppi maggiormente rappresentativi);
- ✓ la revisione scientifica delle evidenze degli effetti sulla salute di progetti simili;
- ✓ la definizione dell'estensione dell'area per la valutazione dell'impatto sanitario;
- ✓ la profilazione della popolazione e la valutazione del suo stato di salute (compreso l'esame delle fasce più suscettibili);
- ✓ la stima quali-quantitativa degli effetti sullo stato di salute della popolazione sia nel breve che nel lungo termine.

Nella fase di Screening è stato costituito un gruppo di lavoro che comprende esperti nei settori della Tossicologia, della Medicina del Lavoro e della Epidemiologia, coordinato dal Prof. Enrico Pira. In particolare il gruppo è risultato composto da un Professore ordinario di Medicina del Lavoro, responsabile scientifico della convenzione e coordinatore del gruppo, da un Professore associato di Medicina del Lavoro, esperto in tossicologia, da un esperto in epidemiologia e in valutazione dell'impatto sulla salute, da una biologa esperta in campionamenti ambientali e successiva analisi in



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

microscopia elettronica per la determinazione di polveri e fibre, da una assegnista di ricerca laureata in Medicina e Chirurgia e specialista in Medicina del Lavoro, e da una laureata in Medicina e Chirurgia specializzanda in Medicina del Lavoro.

La fase di Scoping si basa sull'identificazione degli obiettivi di tutela della salute e della metodologia da adottare per raggiungere gli scopi prefissati. Obiettivi e metodologia operativa hanno tratto beneficio dalle attività di misura ed analisi poste in essere alla data di stipula della Convenzione, confrontando i dati resi disponibili da TELT e verificati dagli Enti di Controllo Regionale. A seguito della presentazione del primo rapporto di attività e del confronto con le parti coinvolte nel progetto, la metodologia e lo sviluppo delle attività sono state condivise *in itinere* con gli Enti di controllo e con il gruppo di lavoro di supporto all'attività scientifica dell'Università di Torino, composta da "esperti del territorio" individuati a discrezione dei Sindaci dei comuni interessati e dell'Azienda Sanitaria Locale.

Definite le modalità operative per l'individuazione delle tipologie di impatto che, nell'opera in esame, riguardano effetti sia a breve sia a lungo termine, diretti e indiretti, è stata avviata la raccolta delle informazioni essenziali ed indispensabili per la realizzazione del mandato, con particolare riferimento all'ubicazione, costruzione, esercizio del cantiere, smantellamento dello stesso e ripristino del sito.

Il cantiere de La Maddalena

Il cunicolo esplorativo de La Maddalena è realizzato nel contesto del progetto di costruzione del nuovo collegamento ferroviario Torino-Lione. La realizzazione del tunnel geognostico de La Maddalena è volta, in fase preliminare, a conoscere meglio la struttura geologica del massiccio che verrà attraversato dal tunnel di base e, nella fase successiva di costruzione dello stesso, per accedere ai cantieri sotterranei del tunnel di base. Nella fase di esercizio della linea ferroviaria l'opera realizzata avrà diverse funzioni quali quella di accesso per manutenzione e di eventuale via di transito di mezzi di soccorso.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

La lunghezza complessiva del tunnel geognostico è di 7.020 metri, con un diametro di 6,30 metri ed attraversa due principali zone geologiche: quella Piemontese, con presenza di calcescisti e carnirole, e quella Brianzonese del massiccio d'Ambin con presenza di micascisti e gneiss.

Il cantiere insiste sul territorio del comune di Chiomonte ed è compreso fra il torrente Clarea, la strada dell'Avanà e la strada delle Gallie, collocandosi alla base della Val Clarea.

Le attività sono state suddivise essenzialmente nelle seguenti macrofasi:

- **Fase 1:** sistemazione aree di cantiere, scotico del terreno vegetale, formazione piani di lavoro, Bonifica Ordigni Bellici, indagini archeologiche;
- **Fase 2:** formazione di barriere paramassi e opere di presidio all'imbocco del cunicolo;
- **Fase 3:** scavo dell'imbocco e del tratto di galleria naturale realizzata in DBM;
- **Fase 4:** montaggio in piazzale antistante l'imbocco della TBM;
- **Fase 5:** scavo mediante TBM;
- **Fase 6:** smontaggio della TBM, smobilitazione del cantiere e ripristini ambientali.

Le attività hanno avuto inizio nell'aprile 2012 con la presa in consegna del sito e l'allestimento della base del cantiere; le macrofasi 1 e 2, sono state individuate come fasi ad impatto trascurabile secondo quanto emerso dallo Studio di Impatto Ambientale (SIA). Le operazioni di scavo sono invece iniziate nel gennaio 2013 con le ultime metodologie tradizionali quali escavatore e martello demolitore con cui sono stati realizzati circa 240 metri della tratta (fase 3). Questa fase si è conclusa nel luglio 2013. Nei mesi successivi è stata montata una fresa TBM aperta con grippers, dotata di sistemi di sondaggio in itinere in grado di fornire informazioni sulla qualità della roccia e sull'eventuale presenza di acqua (fase 4). Completata la fase di montaggio nell'ottobre 2013 è iniziata, nel novembre 2013 la fase dello scavo mediante fresa TBM (fase 5). Le macrofasi 3, 4, 5 e 6 sono state individuate, in considerazione della tipologia e dell'inquadramento territoriale delle opere in progetto e da quanto emerge dallo SIA, come lavorazioni ad impatto potenziale sulle diverse componenti ambientali (in particolare atmosfera, ambiente idrico, clima acustico e vibrazioni). Inoltre viste le peculiari caratteristiche delle fasi di scavo rispetto alla fase caratterizzata da una attività di cantiere estremamente ridotta, le modalità operative del Monitoraggio Ambientale sono state differenziate e distinte in:

- **Fase 1:** assetto operativo per scavo in DBM;
- **Fase 2:** assetto operativo per scavo meccanizzato (TBM);
- **Fase 3:** assetto operativo a conclusione scavo.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

La descrizione e analisi del monitoraggio previsto dal PMA, di seguito riportata, è da riferirsi alla fase 2 (scavo meccanizzato TBM). Per la fase 1 (scavo in DBM) sono stati introdotti gli opportuni adeguamenti con riduzioni spazio-temporali in relazione all'effettivo livello di attività del cantiere.

Nel mese di febbraio 2017 è terminato lo scavo con TBM al raggiungimento di 7.020 mt.

Con la fine dello scavo si è conclusa la fase 2 ed ha avuto inizio la fase 3 delle lavorazioni inerente lo smontaggio della TBM e delle attrezzature accessorie e lo smobilizzo del cantiere. Con l'avvio della fase 3 (fase 3A iniziata ufficialmente in data 16/03/2017) è stato previsto l'adeguamento dei monitoraggi ambientali al cronoprogramma poiché l'operatività del cantiere, e quindi l'impatto sulle matrici ambientali, è fondamentalmente differente rispetto alle due fasi precedenti, in accordo con ARPA Piemonte.

La cronologia degli eventi è riassunta nella Figura 1 in cui sono riportate le diverse fasi di avvio dell'opera e lo stato di avanzamento lavori al 2017, con 7.020 metri di scavo realizzato.

Figura 1. Planimetria e cronologia di avanzamento scavi aggiornata a fine 2017





UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Nell'ambito della realizzazione del progetto esecutivo ed in ottemperanza alle richieste degli Organi di Controllo è stato attivato un presidio ambientale che comprende un Piano di Monitoraggio Ambientale (PMA), esterno all'area di cantiere e un Piano di Gestione Ambientale (PGA), relativo all'area di cantiere. In particolare l'obiettivo del PMA è:

- accertare lo stato iniziale dell'ambiente
- controllare gli effetti in relazione alle attività di cantiere
- rilevare eventuali situazioni di anormalità o non conformità in rapporto alle idoneità ed efficacia delle misure di mitigazione di eventuali impatti ambientali
- verificare costantemente gli effetti del cantiere sullo stato ambientale rispetto alla situazione *ante-operam*.

Pertanto ai sensi della prescrizione n 19 della Delibera CIPE 86/2010 è stato redatto, per il cunicolo esplorativo de La Maddalena, un piano di monitoraggio ambientale (PMA) condiviso con ARPA Piemonte ed ISPRA, approvato dal Ministero dell'Ambiente, in funzione delle potenziali pressioni sull'ambiente prodotte dalla realizzazione del progetto.

Il sistema integrato ha previsto quindi l'allestimento di una serie di punti di misura atti al controllo ambientale dell'area di cantiere esterna al tunnel nonché del territorio limitrofo compreso nell'arco di 15 km.

Le aree geografiche incluse in questo progetto sono rappresentate nella Figura 2 mentre in Figura 3 sono indicate le 40 stazioni di monitoraggio allestite nell'arco di 15 km dall'area di cantiere, che vanno ad aggiungersi alle 26 stazioni presenti nell'interno cantiere. Presso il forte di Exilles è stata attivata unicamente una stazione per il monitoraggio di radiazioni ionizzanti di natura elettromagnetica e corpuscolata. L'ubicazione definitiva delle stazioni di monitoraggio è stata definita a seguito di specifici sopralluoghi in collaborazione con ARPA Piemonte.

Figura 2. Estensione della rete di monitoraggio ambientale sul territorio.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

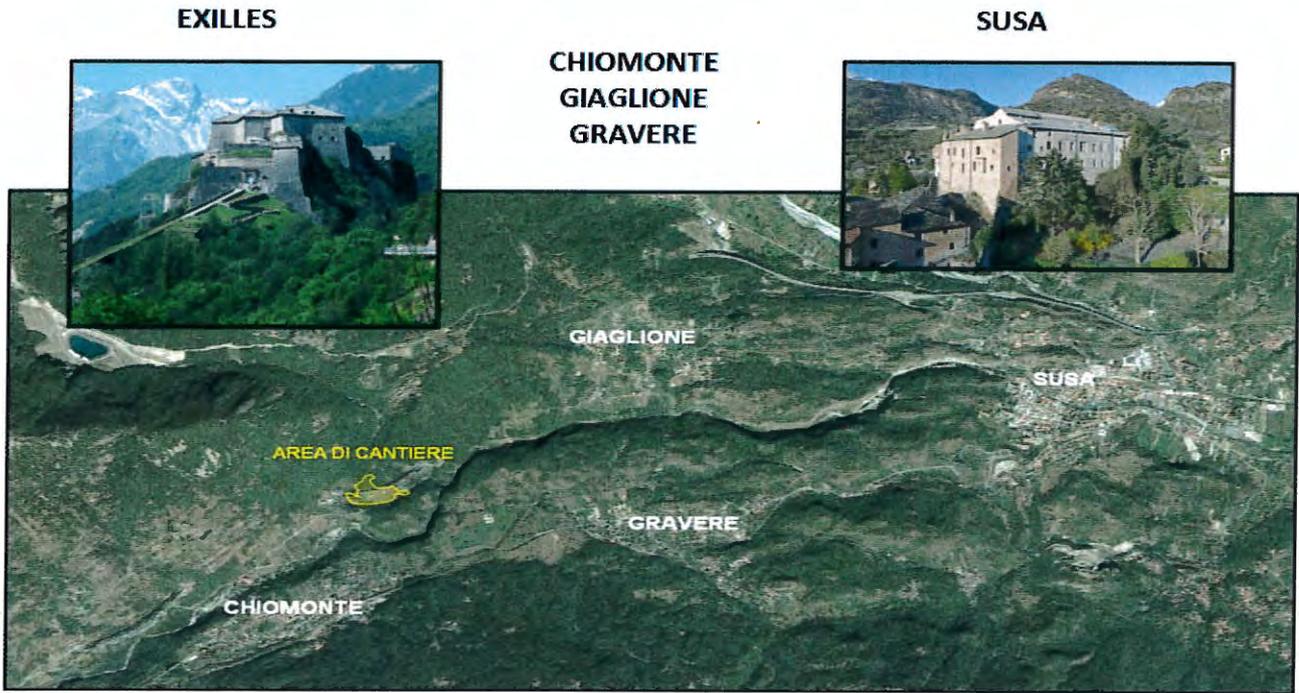
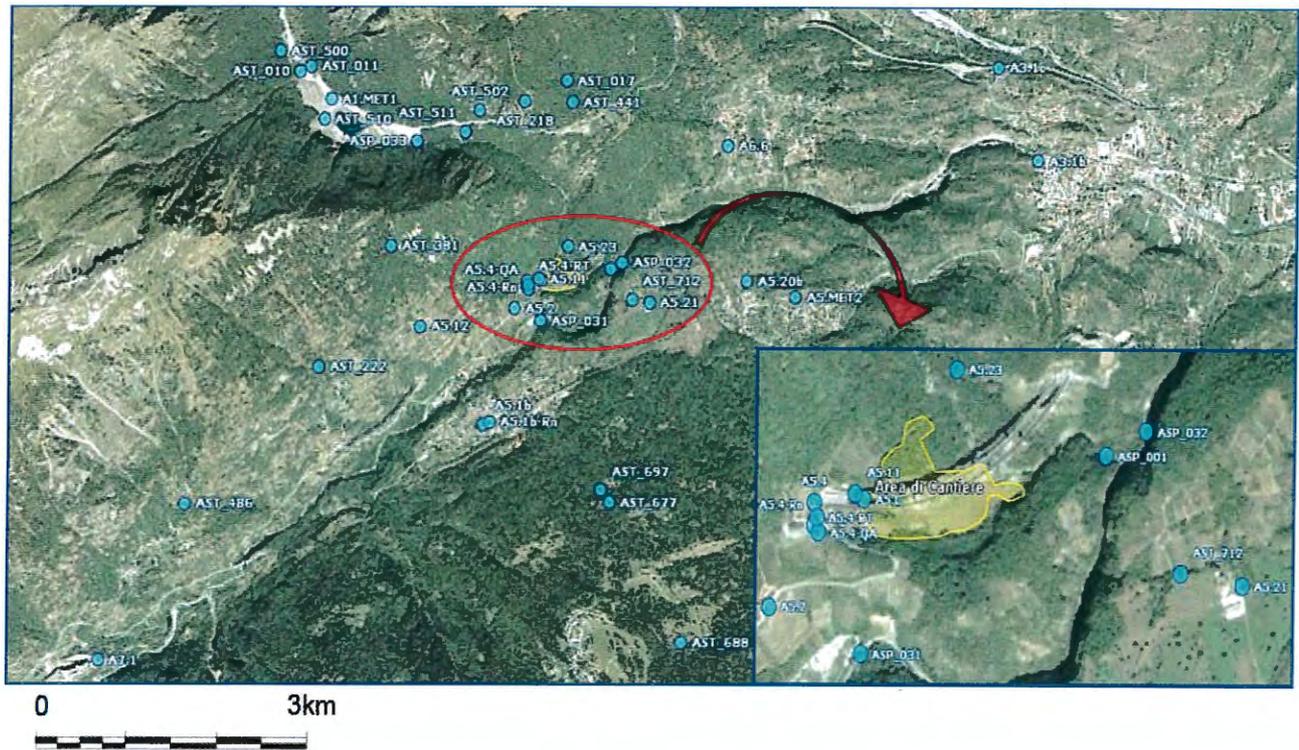


Figura 3. Distribuzione delle stazioni di monitoraggio sul territorio.





UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Le attività di monitoraggio dalla fase *ante-operam* hanno avuto inizio in modo sistematico a gennaio 2012, anche se le prime campagne di acquisizione dati sono iniziate a metà degli anni 2000 nell'ambito degli studi propedeutici alla progettazione. ARPA Piemonte effettua la verifica delle attività di monitoraggio ambientale prodotte da LTF/TELT valutando i dati ambientali e i referti analitici trasmessi ed effettuando campagne di misura in parallelo a verifica dell'attendibilità dei dati trasmessi dal proponente del progetto.

Oltre all'area esterna di pertinenza del cantiere i monitoraggi hanno interessato il territorio limitrofo comprendente i comuni di Chiomonte, Gravere, Giaglione e Susa, mentre, presso il forte di Exilles, è stata allestita, come precedentemente descritto, una stazione di monitoraggio di radiazioni di tipo corpuscolato (α e β) ed elettromagnetico (γ).

I risultati ottenuti sono stati tradotti in rapporti sistematici in cui sono raccolti i risultati delle diverse campagne di misura. Tali dati sono disponibili agli operatori e organi di controllo (ARPA, ISPRA) e per i soggetti accreditati sul Sistema Informativo Territoriale WEB-GIS denominato Geoweb, portale unico ambientale di TELT. Anche ARPA Piemonte provvede alla stesura di un documento di sintesi sull'insieme dei dati raccolti.

Dati anagrafici e sanitari

Parallelamente alla raccolta delle informazioni essenziali in riferimento all'ubicazione, costruzione, esercizio del cantiere, smantellamento dello stesso, ripristino del sito, e alla successiva valutazione dei dati relativi agli indicatori di qualità per le differenti componenti ambientali è proceduta la raccolta e analisi dei dati sanitari per la definizione dello stato di salute *ante-operam* della popolazione potenzialmente coinvolta.

Sono state condotte attività tese principalmente alla identificazione dei dati anagrafici e sanitari disponibili e alla loro elaborazione, da una parte per definire il contesto generale (Regione Piemonte, Provincia di Torino, Distretto di Susa) in cui l'opera si inserisce, e dall'altra per dettagliare a livello di singoli comuni gli eventi sanitari di interesse.

Innanzitutto si è proceduto con la ricerca delle fonti pubblicate, alla loro acquisizione ed iniziale analisi, nonché ad alcune elaborazioni di tipo generale utili a costruire un quadro di riferimento attendibile. Successivamente, avendo acquisito anche alcune informazioni sanitarie già aggregate a



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

livello di singolo comune sono state effettuate alcune elaborazioni iniziali per saggiare il livello di informazione desumibile dalle notizie a disposizione e le eventuali problematiche presenti.

Le informazioni disponibili si riferiscono ai dati pubblicati dalla Rete Regionale dei Servizi di Epidemiologia della Regione Piemonte, acquisite tramite accesso internet pubblico, nonché ai dati messi a disposizione dalla ASL (o ancora dalla Rete Regionale dei Servizi di Epidemiologia della Regione) e riferiti ad alcuni singoli comuni della Val di Susa, dati ampiamente analizzati e riportati nelle precedenti relazioni.

Nel seguito vengono forniti alcuni elementi dei dati raccolti e analizzati (a titolo esemplificativo: i dati di mortalità, per il periodo 2013-2014, ultimi dati completi disponibili, a livello comunale messi a disposizione dalla ASL e dal Centro DoRS).

Tabella 1.

Morti, tassi standardizzati di mortalità per età x 100.000 abitanti e Rapporti tra tassi (RR, riferimento Provincia Torino)
Fonte: elaborazione DoRS su Schede di morte Istat

Area territoriale	2013-2014, Uomini						2013-2014, Donne					
	Cause accidentali			Cause accidentali			Cause accidentali			Cause accidentali		
	Incidenti da traffico	Cause accidentali		Incidenti da traffico	Cause accidentali		Incidenti da traffico	Cause accidentali		Incidenti da traffico	Cause accidentali	
	N.	RR	Sign.									
Chiomonte	0	0,00			1,27		0	0,00		0	0,00	
Giaglione	0	0,00		0	0,00		0	0,00		0	0,00	
Gravere	0	0,00			1,37		0	0,00		0	0,00	
Susa		3,33		4	1,63			23,43		4	5,03	
		T. Stdz.			T. Stdz.			T. Stdz.			T. Stdz.	
Provincia di Torino	170	7		963	30,4		55	2,1		712	13	
Piemonte	363	7,5		2048	32,9		124	2,1		1421	12,8	



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
 Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Tabella 2.

Morti, tassi standardizzati di mortalità per età x 100.000 abitanti e Rapporti tra tassi (RR, riferimento Provincia Torino)
 Fonte: elaborazione DoRS su Schede di morte Istat

2013-2014, Uomini

Area territoriale	Cause																					
	Tutti i tumori			Tumori del retroperitoneo e del peritoneo			Tumori trachea, bronchi e polmoni			Tumori della pleura			Tumori del sistema nervoso centrale			Tumori linfopoietici			Tumori della prostata			
	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.	
Chiomonte	5	0,96		0	0,00		0	0,00		0	0,00		0	0,00					2,57		2,07	
Giaglione		0,21		0	0,00		0	0,00		0	0,00		0	0,00		0	0,00		0	0,00	0	0,00
Gravere	6	1,77		0	0,00			0,81		0	0,00		0	0,00					4,94		0	0,00
Susa	26	1,06		0	0,00		6	0,88		0	0,00			1,23		0	0,00					0,54
	T. Stdz.			T. Stdz.			T. Stdz.			T. Stdz.			T. Stdz.			T. Stdz.			T. Stdz.			
Provincia di Torino	8140	199,8		14	0,4		2096	51,6		99	2,4		200	6		618	15		572	12,1		
Piemonte	16300	203,6		21	0,3		4067	51		227	2,9		375	5,9		1236	15,1		1139	12,2		

Handwritten signature



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Tabella.3

Morti, tassi standardizzati di mortalità per età x 100.000 abitanti e Rapporti tra tassi (RR, riferimento Provincia Torino)
Fonte: elaborazione DoRS su Schede di morte Istat

2013-2014, Uomini

Area territoriale	Cause																	
	Tutte le malattie respiratorie			Malattie acute delle prime vie aeree			Bronchiti, enfisema, asma			BPCO			Cause naturali			Tutte le cause		
	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.
Chiomonte	3	2,38		0	0,00			1,73			1,83		16	1,26		17	1,26	
Giaglione	0	0,00		0	0,00		0	0,00		0	0,00		3	0,39		3	0,37	
Gravere	0	0,00		0	0,00		0	0,00		0	0,00		15	1,70		16	1,68	
Susa	9	1,49		0	0,00		7	2,38		7	2,53		70	1,02		74	1,06	
	T. Stdz.			T. Stdz.			T. Stdz.			T. Stdz.			T. Stdz.			T. Stdz.		
Provincia di Torino	2044	43,4		42	0,9		1065	22,3		1009	21		21829	511,3		22792	541,7	
Piemonte	4080	43,1		90	0,9		2123	22		1995	20,6		44936	529,3		46984	562,2	



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Tabella 4.

Morti, tassi standardizzati di mortalità per età x 100.000 abitanti e Rapporti tra tassi (RR, riferimento Provincia Torino)
Fonte: elaborazione DoRS su Schede di morte Istat

2013-2014, Donne

Area territoriale	Cause																	
	Tutti i tumori			Tumori del retroperitoneo e del peritoneo			Tumori trachea, bronchi e polmoni			Tumori della pleura			Tumori del sistema nervoso centrale			Tumori linfo-emopoietici		
	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.
Chiomonte	7	1,09		0	0,00			2,53		0	0,00		0	0,00		0	0,00	
Giaglione		0,24		0	0,00		0	0,00		0	0,00		0	0,00		0	0,00	
Gravere		0,71		0	0,00		0	0,00		0	0,00		0	0,00		0	0,00	
Susa	18	0,77		0	0,00		0	0,00		0	0,00		0	0,00		3	1,23	
	T.Stdz.			T.Stdz.			T.Stdz.			T.Stdz.			T.Stdz.			T.Stdz.		
Provincia di Torino	6414	122,2		17	0,4		784	16,5		33	0,7		186	4,6		530	9,3	
Piemonte	12848	122		39	0,4		1454	15,4		97	0,9		310	3,9		1069	9,3	



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
 DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
 Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Tabella 5.

Morti, tassi standardizzati di mortalità per età x 100.000 abitanti e Rapporti tra tassi (RR, riferimento Provincia Torino)
 Fonte: elaborazione DoRS su Schede di morte Istat

2013-2014, Donne

Area territoriale	Cause														
	Diabete			Neuro psichiatriche			Malattia ipertensiva			Malattie ischemiche del cuore			Malattia cerebrovascolari		
	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.	N.	RR	Sign.
Chiomonte	0	0,00			2,38			1,00			0,65		5	3,20	
Giaglione	0	0,00		0	0,00			1,79			1,15		0	0,00	
Gravere	0	0,00		0	0,00		0	0,00		0	0,00		0	0,00	
Susa		0,55		7	1,20		7	1,37		13	2,21		14	1,10	
	T.Stdz.			T.Stdz.			T.Stdz.			T.Stdz.			T.Stdz.		
Provincia di Torino	652	8,6		1258	13,8		1504	16,4		2081	25,6	24,4	3138	36,4	
Piemonte	1506	9,6		2391	12,8		3105	16,5		4488	26,7	25,9	6844	38,1	



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Dai dati sanitari, complessivamente, si ricava come nel contesto Regionale l'area di interesse riguardante i Comuni potenzialmente coinvolti dall'opera presenti una variazione degli indicatori di rischio (di mortalità, di ricovero) che rientra all'interno di quella che può essere definita come la naturale variabilità statistica del panorama di rischio regionale, e i tassi nella fase *ante-operam* non appaiono aumentati rispetto al tasso di riferimento regionale.

Per quanto riguarda più in dettaglio i dati a livello comunale, l'occorrenza sporadica (o assenza) di qualche caso di patologia può essere sufficiente a generare indicatori di rischio relativo elevati (o, per converso, assenza di rischi) che possono risultare anche statisticamente significativi, ma l'interpretazione di questi risultati, in senso positivo o negativo, risente della scarsa base statistica dovuta al limitato numero di cittadini residenti nei comuni maggiormente interessati dall'opera. La mancanza di consistenza e ricorrenza di tali eccessi (o difetti) di rischio per comune, per periodo, per sesso, oltre che per patologia, rende difficile una interpretazione dei dati in correlazione con le variabili ambientali rilevate, ma non è indicativa, al momento, di una situazione che richieda una particolare attenzione per il periodo esaminato, sia per quanto riguarda la situazione di partenza *ante-operam*, sia per la fase di corso d'opera fin qui monitorata. Merita comunque attenzione nel prossimo futuro il dato di mortalità per il totale dei tumori nei soli maschi osservato a Susa (eccesso però non presente né nelle femmine, né nei ricoveri di entrambi i sessi, nello stesso periodo monitorato).

In questo contesto di variabilità assai elevata (per periodo, sesso, territorio, patologia) non sono proponibili interpretazioni basate su criteri di certezza, anche per il breve periodo di osservazione dell'opera in corso (un solo anno per la mortalità e due soli anni per i ricoveri), e diventa quindi indispensabile continuare nei successivi bienni il monitoraggio dei dati sanitari.

I dati raccolti relativi agli eventi sanitari per effetti sia a breve sia a lungo termine costituiscono la base per il confronto con i dati che saranno progressivamente messi a disposizione dalle stesse fonti informative istituzionali a seguito della realizzazione dell'opera.



**VALUTAZIONE DI IMPATTO SULLA SALUTE (VIS):
METODOLOGIA e APPLICAZIONE
DELLA FASE DI ASSESSMENT (VALUTAZIONE DEL RISCHIO)**

La fase di assessment (valutazione del rischio), all'interno di una procedura di VIS, identifica quali caratteristiche hanno i rischi sanitari connessi all'opera in questione e, laddove possibile, ne valuta quantitativamente l'impatto.

Come noto, il rischio ci informa di quanto sia probabile che l'evento avverso per la salute si verifichi. Tecnicamente parlando, il rischio è la probabilità che (a seguito dell'esposizione ad un pericolo) un evento avverso per la salute succeda; inoltre, essendo il rischio associabile ad una probabilità, è un concetto quantitativo che varia (generalmente in maniera continua) tra il valore zero (assenza totale di rischio) ed il valore uno (presenza certa di rischio).

Gli eventi avversi (danni) che si possono verificare sono molteplici e sono caratterizzati anche da una differente gravità (un sintomo, una malattia, un decesso, ...): in termini concettuali per ciascuno di questi eventi è possibile calcolare la probabilità (rischio) che esso succeda (o succederà) come conseguenza di una determinata esposizione.

Il processo di Valutazione del Rischio inteso, quindi, come il processo che porta alla stima dell'occorrere nella salute umana di un evento potenzialmente dannoso (ovvero, calcolo in termini di probabilità che a seguito di un'esposizione ad un pericolo si verifichi un evento avverso), ha ormai trovato un consolidato riconoscimento nella letteratura scientifica e la sua applicazione distingue due grandi aree di intervento (con riferimento al momento in cui viene condotta la valutazione): valutazione retrospettiva, quando l'evento avverso per la salute si considera (almeno in potenza) già avvenuto; valutazione prospettica, quando l'evento avverso per la salute non è ancora avvenuto.

Nel primo caso (evento avverso già avvenuto: calcolo della probabilità che sia avvenuto un evento avverso a seguito di un'esposizione), entrano in gioco principalmente le conoscenze metodologiche che si rifanno alla epidemiologia, alla tossicologia ed a tutte quelle discipline che studiano



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

l'occorrenza nella popolazione di eventi avversi per la salute, e non si tende a parlare di valutazione del rischio ma di valutazione del danno in quanto l'evento (almeno potenzialmente) è già avvenuto. Nel secondo caso (evento avverso non ancora avvenuto: calcolo della probabilità che a seguito di una esposizione possa avvenire un evento avverso in futuro), si parla più specificamente (ed in modo più appropriato) di valutazione del rischio o "risk assessment", perché il danno non è ancora avvenuto e si vuole valutare la probabilità che esso avvenga (il concetto di rischio, appunto). Al concetto di valutazione del rischio in senso proprio (valutazione prospettica, "risk assessment"), viene spesso associato il concetto di "valutazione di impatto", in quanto tale procedura esita in una stima degli effetti avversi attesi in futuro in una determinata popolazione: il rischio prospettato (in termini di rischio oppure, si veda oltre, in termini di casi attesi) rappresenta pertanto una stima di impatto sanitario dell'azione che sarà agita dal pericolo esaminato.

Il processo di valutazione del rischio (sanitario) ha trovato in letteratura un'articolazione metodologica ormai considerata standard e condivisa, costituita sostanzialmente da quattro fasi:

- a. identificazione del pericolo (dei pericoli) e del potenziale evento/i avverso/i ad esso associato/i;
- b. valutazione della relazione dose-risposta (tra esposizione ed evento/i avverso/i) così come emergente dalle informazioni di letteratura;
- c. valutazione dell'esposizione;
- d. stima (caratterizzazione) del rischio (impatto) per il pericolo/i allo studio.

Le prime due fasi appartengono alla ricerca scientifica (studi epidemiologici, studi in vivo e in vitro, modelli farmacocinetici, etc.). E' in tale contesto, infatti, che vengono definiti da una parte gli effetti sanitari (tossici e/o cancerogeni) associati ai pericoli che saranno indagati e, dall'altra, le relazioni tra valori di dose e risposta del sistema biologico rispetto agli effetti sanitari identificati.

Le seconde due fasi sono invece caratteristiche della situazione concreta che si sta esaminando, perché è all'interno dello specifico contesto della realizzazione del cunicolo de La Maddalena che andranno valutate le reali esposizioni prodotte e le loro conseguenze in termini di impatto sulla salute delle popolazioni interessate dall'opera.

In termini generali le quattro fasi vengono sinteticamente descritte nel seguito.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

a. Identificazione dei pericoli allo studio e dei potenziali eventi avversi ad essi associati

Nel presente studio sono state considerate diverse tipologie di pericoli, dettagliatamente descritte nelle relazioni periodiche prodotte dalla stipula della convenzione.

**COMPONENTI AMBIENTALI OGGETTO DI MONITORAGGIO E RELATIVI
INDICATORI DI QUALITA'**

ATMOSFERA

Inquinamento Atmosferico

Con il termine «*inquinante*» si indica qualunque sostanza, eventualmente già presente nella composizione dell'atmosfera o prodotta artificialmente dall'uomo, che, per le elevate concentrazioni raggiunte o per il suo grado di tossicità, altera l'equilibrio dell'ambiente provocando effetti dannosi sulla salute e sugli ecosistemi. Gli effetti degli inquinanti sui diversi organismi variano a seconda della concentrazione in aria, del tempo di permanenza e delle loro caratteristiche fisico-chimiche.

Gli inquinanti possono essere distinti nelle seguenti categorie:

- primari - secondari
- gassosi - particolati

Sono definiti primari gli inquinanti direttamente emessi in atmosfera, secondari quelli che si formano come risultato di reazioni chimiche con altri inquinanti o gas atmosferici. Tale distinzione è importante ai fini delle misure utili per il loro controllo in quanto, mentre esiste una relazione diretta tra l'emissione degli inquinanti primari e la loro concentrazione ambientale, la riduzione di un precursore di un inquinante secondario, invece, non comporta automaticamente un decremento proporzionale nel livello di quest'ultimo: ad esempio, il livello di O₃ nell'aria può aumentare al diminuire delle emissioni di monossido di azoto (NO).



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Particolato

Si definisce «particolato» una miscela di particelle solide o liquide in sospensione in un gas.

Le emissioni di polveri da parte del traffico veicolare sono causate, non solo dai gas di scarico degli autoveicoli, a cui contribuiscono soprattutto i motori diesel, ma anche dalle emissioni derivanti dall'usura dei freni, delle gomme e dal conglomerato bituminoso. A questi si possono aggiungere, in modo non trascurabile, soprattutto in presenza di viabilità non particolarmente pulite, fenomeni di comminazione, risollevarimento ed aerodispersione del materiale presente sul manto stradale.

La componente particolata di tali emissioni è costituita da una miscela di elementi quali, ad esempio, carbonio, nitrati, solfati, composti organici, frammenti di suolo, metalli pesanti come piombo e nichel che presentano dimensioni variabili comprese tra 0,005 μm e 50-150 μm . Convenzionalmente, le particelle sospese sono identificate con il simbolo "PM" (dall'inglese "*Particulate Matter*" - Materiale Particolato), seguito dal numero che indica il loro massimo diametro aerodinamico. In particolare:

- PM_{10} è la frazione di materiale particolato sospeso in aria ambiente che passa attraverso un sistema di separazione in grado di selezionare il materiale particolato di diametro aerodinamico di 10 μm , con un'efficienza di campionamento pari al 50%. È pertanto una polvere inalabile, in grado di penetrare nel tratto respiratorio superiore (naso, faringe e laringe);
- $\text{PM}_{2,5}$ è la frazione di materiale particolato sospeso in aria ambiente che passa attraverso un sistema di separazione in grado di selezionare il materiale particolato di diametro aerodinamico di 2,5 μm con un'efficienza di campionamento pari al 50%. È quindi una polvere toracica, in grado di penetrare nel tratto tracheo-bronchiale (trachea, bronchi, bronchioli);
- $\text{PM}_{0,1}$ è la frazione di materiale particolato sospeso in aria ambiente che passa attraverso un sistema di separazione in grado di selezionare il materiale particolato di diametro aerodinamico di 0,1 μm con un'efficienza di campionamento pari al 50%. È una polvere respirabile ultrafine, in grado di penetrare profondamente nei polmoni fino agli alveoli (Air Quality Guidelines – WHO, 2006).



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Il Monitoraggio Ambientale del cantiere de La Maddalena, a valle della concertazione tecnica con ARPA Piemonte, ha riguardato prevalentemente il PM_{10} in quanto potenziale indicatore anche della movimentazione dei mezzi di cantiere.

Il particolato può essere trasportato anche a lunghe distanze e può rimanere sospeso nell'aria per lunghi periodi. Il tempo di permanenza del particolato varia da pochi minuti a diversi giorni in funzione delle dimensioni del particolato stesso e dello strato atmosferico interessato e delle condizioni meteo-climatiche.

La rimozione può avvenire per via secca, mediante la sedimentazione gravitazionale delle particelle e la coagulazione con altre particelle, oppure per via umida mediante le precipitazioni.

Esiste oggi un grande interesse sulle polveri ultrafini che potendo diffondersi in tutte le parti del tratto respiratorio, sono potenzialmente in grado di superare le barriere epiteliali ed endoteliali e diffondersi all'interno delle cellule stesse, agendo sui meccanismi infiammatori. Sono attualmente in corso studi sia tossicologici sia epidemiologici riguardanti la loro tossicità nell'uomo.

Gli effetti degli inquinanti sulla salute umana si suddividono in effetti a breve termine ed effetti a lungo termine.

Per quanto concerne gli effetti a breve termine, concentrazioni giornaliere medie delle particelle fini (PM_{10} e $PM_{2,5}$) sono state associate a:

- un aumento della mortalità;
- un incremento dei ricoveri ospedalieri per malattie cardiache e respiratorie;
- incidenza di infezioni delle vie respiratorie;
- esacerbazioni di patologie polmonari croniche come asma e BPCO.

Per quanto concerne gli effetti a lungo termine, alte concentrazioni medie di lungo periodo (annuali) delle particelle fini (PM_{10} e $PM_{2,5}$) sono state associate ad un declino della funzionalità polmonare e ad un incremento della mortalità.

Una componente del particolato che può risultare critica per le sue implicazioni sanitarie è costituita dai metalli pesanti, elementi estremamente diffusi nelle varie matrici ambientali (aria, acqua e suolo) e derivanti da fenomeni naturali (erosione, eruzioni vulcaniche), ai quali si sommano quelli prodotti da tutte le attività antropiche.

Riguardo l'inquinamento atmosferico i metalli oggetto di maggior interesse sono generalmente As (arsenico), Cd (cadmio), Co (cobalto), Zn (zinco), Cr (cromo), Mn (manganese), Ni (nicel) e Pb (piombo). La loro origine è varia: Cd, Cr e As provengono principalmente dalle industrie minerarie



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

e metallurgiche; Cu dalla lavorazione di manufatti e da processi di combustione; Ni dall'industria dell'acciaio, della numismatica, da processi di fusione e combustione; Co e Zn da materiali cementizi ottenuti con il riciclaggio degli scarti delle industrie siderurgiche e degli inceneritori.

I limiti normativi ambientali relativamente al PM_{10} sono i seguenti:

- $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in 24h – D.Lgs.155/2010 (max 35 superamenti su anno civile);
- $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anno civile - D.Lgs.155/2010

I limiti normativi ambientali relativamente al $PM_{2,5}$ sono i seguenti:

- $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anno civile – D.Lgs.155/2010.

Metalli

I metalli sono probabilmente gli agenti tossici conosciuti da più lungo tempo. I metalli non sono biodegradabili pertanto non subiscono i normali processi di detossificazione metabolica degli xenobiotici che generalmente portano a elementi di minore tossicità. Questo fattore unito al bioaccumulo rende estremamente rilevante il potenziale tossico dei metalli.

La chimica alla base della tossicologia dei metalli non è ancora del tutto chiara e non è possibile ipotizzare un solo meccanismo generale che accomuni tutti i metalli tossici. Tra i meccanismi chimici rilevanti alla base della tossicità dei metalli ricordiamo soprattutto:

- danno ossidativo, in cui i metalli fungono da catalizzatori di reazioni ossido riduttive che danneggiano biomolecole, proteine, DNA, ...
- mimetismo: alcuni metalli mimano quelli essenziali sostituendoli ed inibendo numerosi processi chiave, metabolici o di segnale
- formazione di addotti molecolari con proteine o DNA che possono ad esempio inibire attività enzimatiche o essere iniziatori dei processi di cancerogenesi.

La tossicità dei metalli è influenzata da una serie di fattori correlati alla modalità di esposizione quali la dose, la via, la frequenza e la durata; esistono infine fattori individuali (sesso, età, stile di vita, etc.) che rendono il soggetto più o meno suscettibile nei confronti dei metalli in esame.

Inoltre, alcuni metalli (es. As, Cr, Ni) esistono in natura in diversi stati di ossidazione, potendo quindi creare numerosi composti, quali idrossidi, composti organometallici, composti biomolecolari ed altri, i quali possiedono diversa biodisponibilità e tossicità all'interno dell'organismo umano.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Arsenico (As)

Tossicocinetica. L'assorbimento di As è condizionato dalle caratteristiche chimico-fisiche del particolato inalato. L'escrezione avviene principalmente con le urine ed in minima parte con la desquamazione della cute e con il sudore. L'emivita dell'As inorganico è di circa 10 ore ed il 50%-80% è escreto entro tre giorni. L'As ha una particolare affinità per la cute e gli annessi (unghie e capelli).

L'As è tossico e cancerogeno. Per inalazioni acute di concentrazioni ambientali di As pari a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ o per esposizioni a concentrazioni minori per tempi prolungati si possono verificare fenomeni irritativi delle alte e basse vie aeree o alterazioni irritative cutanee. Il contatto cutaneo di alte dosi del metallo causa altresì manifestazioni cutanee di tipo irritativo. Organi bersaglio dell'esposizione cronica ad As sono: cute, fegato, sistema nervoso periferico. I composti inorganici dell'As sono stati classificati dalla IARC come cancerogeni certi (Gruppo 1) per l'uomo per la causazione di tumori cutanei e polmonari; esistono anche evidenze positive sull'associazione tra As e suoi composti e tumori di rene, fegato e prostata (NRC, 2001; IARC Monographs Vol. 100c, 2011). L'As agisce inoltre come co-mutageno e co-cancerogeno (Rossman, 2003; Che, 2005). Nell'organismo i composti inorganici si convertono ad As^{3+} e As^{5+} , il quale a sua volta si converte ad As^{3+} che è la forma più tossica e bioattiva sia per la maggior reattività sia per la capacità di entrare a livello intracellulare. I composti trivalenti reagiscono con gruppi tiolici di enzimi ed altre proteine. I composti pentavalenti sono disaccoppianti della fosforilazione ossidativa.

Il limite ambientale proposto per l'Arsenico è il seguente:

- 6 ng/m^3 , anno civile – D.Lgs.155/2010 (valore obiettivo).

Cadmio (Cd)

Tossicocinetica. Si pensa che il Cd che raggiunge gli alveoli polmonari passi nel circolo ematico legandosi all'albumina e alle altre proteine plasmatiche (Satarug, 2004). Una volta assorbito, il Cd è escreto lentamente, si stima lo 0,001% al giorno per via fecale e urinaria (ATDSR, 2012; Satarug, 2004). Il Cd sfrutta il fenomeno di mimetismo molecolare nei confronti del calcio (Zalpus, 2003). Viene escreto prevalentemente per via urinaria; per via biliare è escreto come complesso del glutathione. L'escrezione con le urine aumenta proporzionalmente al carico corporeo (Friberg, 1986;



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

ATSDR, 2012). Il Cd è rapidamente captato dai tessuti e si deposita principalmente nel fegato e in misura minore nei reni. Nel fegato viene immagazzinato come complesso Cd-metallotioneina e trasportato al rene dove può accumularsi nei lisosomi tubulari. Una volta nei lisosomi, il Cd può essere rilasciato e indurre tossicità renale o essere nuovamente complessato con la metallotioneina. Non si conosce esattamente l'emivita del Cd, ma può variare da pochi anni fino a 30 anni (ATSDR, 2012).

Tossicità. L'effetto tossico acuto principale del Cd è di tipo irritativo diretto sugli epitelii. L'inalazione massiva di vapori di Cd può causare danni polmonari la cui gravità dipende da tipo di composto chimico, dimensione delle particelle inalate e durata dell'esposizione: le forme idrosolubili (es. cloruro di Cd) sono lesive a concentrazioni pari a 1-3 mg/m³ per 8 ore di esposizione, mentre quelle liposolubili presentano un effetto tossico per dosaggi più elevati (es. fumi di ossido di Cd a concentrazioni di 26 mg/m³). L'entità della manifestazione tossica va da quadri di polmonite acuta a edema polmonare alla morte (ATSDR, 2012). I principali effetti tossici a lungo termine per esposizioni protratte a bassi livelli di Cd comprendono il danno renale, la malattia polmonare ostruttiva, l'osteoporosi e le patologie cardiovascolari. Diversi studi epidemiologici hanno registrato un eccesso di mortalità per tumore del polmone da inalazione di fumi/vapori contenenti Cd ed alcuni dati di letteratura, molto controversi, hanno fornito la base per ipotizzare una sua causalità per il carcinoma della prostata, del rene e della vescica (Ilyasova, 2005; Schwartz, 2000; Kriegel, 2006; IARC Monographs Vol. 100c, 2011). La revisione effettuata dalla IARC nel 2011 classifica il Cd come cancerogeno certo per l'uomo (Gruppo 1) per il tumore del polmone, mentre lo classifica come cancerogeno con evidenze limitate per carcinoma della prostata e del rene (IARC Monographs Vol. 100c, 2011).

Il limite ambientale proposto per il Cadmio è il seguente:

- 5 ng/m³, anno civile – European Air Quality Standards.

Nichel (Ni)

Tossicocinetica. Le particelle inalate sono depositate nel tratto respiratorio e il sito di deposizione dipende dalle dimensioni: minore è il diametro delle particelle, maggiore sarà la profondità del tratto respiratorio in cui si depositeranno. Circa il 20-35% del Ni inalato è trattenuto dai polmoni viene assorbito nel sangue; le particelle insolubili possono essere assorbite per fagocitosi. In seguito



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

ad assorbimento per via inalatoria, il Ni viene distribuito dal circolo ematico a polmoni, pelle, reni, fegato, ipofisi e ghiandole surrenali. L'escrezione avviene per via urinaria e la quantità di Ni presente nelle urine è correlabile con l'esposizione ai composti insolubili.

Tossicità. Le dermatiti da contatto sono il più comune effetto avverso conseguente all'esposizione a Ni per via cutanea. I principali effetti causati dall'inalazione di vapori/fumi contenenti particelle di Ni e suoi composti comprendono la bronchite cronica, l'enfisema polmonare, la riduzione della funzionalità respiratoria. Il tumore del polmone e quello dei seni paranasali si possono verificare per esposizioni a composti del Ni scarsamente solubili come il Ni subsulfuro o l'ossido di Ni in concentrazioni superiori ai 10 mg/m³ (ATSDR, 2005). Alcuni composti del nichel sono cancerogeni (ad es. il Ni subsulfuro e l'ossido di Ni) altre invece no come i sali solubile e il Ni metallico. L'esposizione a tali elementi in ambito occupazionale è associata a tumore polmonare, nasale e dei seni paranasali, con una maggiore incidenza in caso di esposizioni di più lunga durata (Anttila, 1998; Karjalainen, 1992). I composti cristallini non idrosolubili sembrano essere responsabili del cancro del tratto respiratorio (Costa, 2005), ma è ancora dibattuto il meccanismo con cui le diverse forme del Ni esplicano la loro differente potenza cancerogena. Il Ni è responsabile di un ampio spettro di effetti epigenetici. L'EPA (European Protection Agency) ha stabilito che le polveri di Ni emesse dalle raffinerie ed il Ni subsulfuro sono cancerogeni per l'uomo.

Il limite ambientale proposto per il Nichel è il seguente:

- 20 ng/m³, anno civile – D.Lgs.155/2010 (valore obiettivo).

Piombo (Pb)

Tossicocinetica. L'assorbimento del Pb attraverso gli alveoli è piuttosto efficiente ed avviene per competizione con gli ioni Ca²⁺. Il 99% del Pb assorbito è legato agli eritrociti, solo l'1% è disponibile per la distribuzione nei tessuti. Il Pb tende a distribuirsi inizialmente a fegato e rene e poi a scheletro e capelli. Il piombo una volta nelle ossa ha un'emivita di circa vent'anni e può essere rilasciato progressivamente contribuendo fino al 50% del Pb ematico totale divenendo un elemento importante nel caso di esposizione occupazionale cumulativa. La principale via di eliminazione di Pb è il rene, mentre l'escrezione fecale costituisce 1/3 dell'escrezione totale del Pb assorbito (ATSDR, 2005c).



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

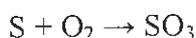
Tossicità. Il Pb può indurre una serie di effetti avversi in funzione della dose e della durata dell'esposizione. Gli effetti tossici vanno dalla inibizione enzimatica, alla genesi di gravi patologie fino alla morte (Goyer, 1990): l'esposizione cronica a Pb causa patologie neurologiche periferiche con danni a livello assonale e demielinizzazione segmentale, effetti ematologici che vanno dall'aumento delle porfirine urinarie e dell'acido deltaaminolevulinico fino all'anemia. Tali effetti si verificano già per livelli di Pb molto bassi e bassi (5-95 µg/dL) (ATSDR, 2007). Il Pb è inoltre nefrotossico: la nefropatia da Pb è frequentemente associata a iperuricemia e gotta (Batuman 1993) e può anche essere causa di ipertensione (Gonick, 2002). Nell'osso il Pb può sostituirsi al calcio inibendo l'attività di osteoblasti, osteoclasti e condrociti, e l'esposizione cronica a Pb è stata associata a osteoporosi (Carmouche, 2005). L'intossicazione acuta da Pb si manifesta per valori di Pb di 100-200 µg/dL con un quadro clinico di coliche addominali associate a crampi, vomito e costipazione (ATSDR 2005c). Nell'adulto livelli ematici di Pb di 100-120 µg/dL sono associati a sviluppo di encefalopatia, ma già a livelli di piombemia di 40-80 µg/dL si evidenziano sintomi quali astenia, irritabilità, cefalea.

Il limite ambientale proposto per il Piombo è il seguente:

- 0,5 µg/m³, anno civile – D.Lgs.155/2010 (valore limite).

Ossidi di zolfo (SO_x)

Gli ossidi di zolfo, anche indicati con il termine comune SO_x, sono gas incolori, di odore acre e pungente, prodotti dalla combustione di materiale contenente zolfo secondo le seguenti reazioni chimiche:



Le forme più comunemente presenti in atmosfera sono il biossido di zolfo (SO₂) e l'anidride solforica (SO₃).

La maggior parte dei composti dello zolfo prodotti dall'attività umana viene convertita in SO₃; solo l'1-3% si trova sotto forma di SO₂. L'ossidazione di SO₂ in SO₃ è favorita dalle alte temperature e dai prodotti delle reazioni fotochimiche che coinvolgono O₃, NO₂ e idrocarburi.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

L'SO₃ deriva dall'ossidazione dello zolfo durante processi di combustione di sostanze che lo contengono sia come impurezza (per esempio combustibili fossili) sia come costituente fondamentale. Nell'atmosfera persiste anche diversi giorni. In particolari condizioni meteorologiche e in presenza di quote elevate di emissioni, può diffondersi nell'atmosfera e interessare territori situati anche a grandi distanze. Viene rimosso mediante le precipitazioni e la deposizione secca (WHO Air Quality Guidelines, 2006). È il principale responsabile delle piogge acide, in quanto in presenza di umidità si trasforma in acido solforico.

Per quanto concerne i possibili effetti avversi sulla salute, studi epidemiologici hanno mostrato come l'esposizione al biossido di zolfo sia correlata ad alterazioni a carico dell'apparato respiratorio e della funzionalità polmonare, oltre a determinare fenomeni irritativi a livello oculare. Il processo infiammatorio a carico dell'apparato respiratorio può manifestarsi attraverso tosse, incremento delle secrezioni mucose, peggioramento del quadro asmatico, bronchiti croniche, oltre ad incrementare la suscettibilità alle infezioni respiratorie.

Il biossido di zolfo rappresenta uno dei principali precursori del PM_{2,5}, che si associa, come descritto precedentemente, a diversi effetti avversi sulla salute umana (Report Air Quality in Europe, 2012).

I limiti normativi ambientali relativi al biossido di zolfo (SO₂) sono i seguenti:

- 500 µg/m³, 3h – D.Lgs.155/2010 (soglia di allarme)
- 350 µg/m³, 1h – D.Lgs.155/2010 (limite orario – max 24 superamenti/anno)
- 125 µg/m³, 24 h – D.Lgs.155/2010 (limite giornaliero – max 3 superamenti/anno)
- 20 µg/m³, anno civile – D.Lgs.155/2010 (limite protezione ecosistemi).

Ossidi di azoto (NO_x)

Gli ossidi di azoto (NO_x), a temperatura ambiente, si presentano in forma gassosa e sono rappresentati dal monossido di azoto (NO), chiamato anche ossido nitrico, e dal biossido di azoto (NO₂). L'NO è un gas incolore e inodore, mentre l'NO₂ è rossastro e di odore forte e pungente. L'NO è prodotto soprattutto durante processi di combustione ad alta temperatura insieme a piccole quantità di NO₂, viene poi ossidato in atmosfera dall'ossigeno e, più rapidamente, dall'ozono (O₃) producendo NO₂. L'NO₂ rappresenta quasi esclusivamente un inquinante secondario, derivando dall'ossidazione dell'NO in atmosfera; svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

fotochimico essendo l'intermedio di base per la produzione di una serie di inquinanti secondari molto dannosi come l'ozono, l'acido nitrico, l'acido nitroso, gli alchilnitrati, i perossiacetilnitrati.

Gli NO_x permangono in atmosfera per 4-5 giorni. Vengono rimossi in seguito a reazioni chimiche che portano alla formazione di acidi, con il vapore acqueo, o di sostanze organiche, con idrocarburi e radicali (Fenger, 2003; U.S. Environmental Protection Agency, 2007).

Gli ossidi di azoto (NO_x), così come gli ossidi di zolfo (SO_x), possono formare i rispettivi nitrati e solfati di natura solida contribuendo alla produzione del particolato secondario, cioè alla diffusione di particelle che si formano in atmosfera per effetto della reazione chimica di sostanze inizialmente emesse in forma gassosa.

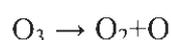
Gli effetti avversi sulla salute determinati dall'esposizione a NO₂ possono derivare sia per esposizioni a breve termine, manifestandosi principalmente con alterazioni della funzionalità respiratoria in soggetti suscettibili, sia per esposizioni a lungo termine con un incremento della suscettibilità alle infezioni respiratorie. Studi epidemiologici effettuati su popolazioni di bambini asmatici hanno mostrato un incremento di sintomi bronchitici in associazione ad esposizioni a lungo termine di NO₂. Una riduzione della funzionalità polmonare è stata, altresì, correlata in relazione a concentrazioni correnti di NO₂ in città sia Europee sia Nord Americane. E' necessario sottolineare come la presenza di NO₂ sia strettamente correlata ad altri inquinanti ambientali, in particolar modo al PM, pertanto risulta difficile differenziare gli effetti sulla salute attribuibili esclusivamente al biossido di azoto nei diversi studi epidemiologici (Air Quality in Europe - Report 2012).

I limiti normativi ambientali relativi agli ossidi di azoto sono i seguenti:

- 30 µg/m³, anno civile – D.Lgs.155/2010 (limite protezione vegetazione)
- 350 µg/m³, 1h - European Air Quality Standards
- 125 µg/m³, 24h - European Air Quality Standards.

Ozono (O₃)

L'ozono è un gas naturale di colore bluastro costituito da tre atomi di ossigeno (O₃) che si scindono facilmente tra loro liberando ossigeno molecolare ed un atomo di ossigeno estremamente reattivo, secondo la seguente reazione:





UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Per tali proprietà questo gas è un energico ossidante nei confronti di materiali organici ed inorganici.

L'O₃ è presente nella stratosfera ma, per effetto della circolazione atmosferica viene in piccola parte trasportato anche nella troposfera, nei quali si forma anche per effetto di scariche elettriche durante i temporali. Tale reazione avviene prettamente nel periodo estivo, per via dell'interazione tra radiazione solare e sostanze chimiche (idrocarburi e NO₂) che, a temperature elevate, attivano e alimentano le reazioni fotochimiche producendo O₃, radicali liberi, perossidi e altre sostanze organiche fortemente ossidanti.

L'O₃ viene trasportato con le masse d'aria anche a diversi chilometri dalla fonte e, pertanto, può rilevarsi in alte concentrazioni anche a grandi distanze. I sistemi di rimozione sono strettamente correlati all'irraggiamento solare che determina la dissociazione della molecola e alla presenza di inquinanti primari (idrocarburi e NO) con i quali l'O₃ reagisce velocemente (Fenger, 2003).

Concentrazioni elevate di ozono si associano ad effetti avversi sulla salute umana:

- insorgenza di sintomi respiratori;
- asma;
- decremento della funzionalità respiratoria;
- patologie dell'apparato respiratorio.

Studi epidemiologici europei che hanno valutato gli effetti a breve termine per le esposizioni correnti ad ozono hanno evidenziato l'insorgenza di alterazioni della funzionalità respiratoria, della permeabilità polmonare, dei processi infiammatori polmonari ed un incremento della morbilità e della mortalità (Air Quality in Europe - Report 2012).

I limiti normativi ambientali relativi all'ozono sono i seguenti:

- 180 µg/m³, 1h – D.Lgs.155/2010 (soglia di informazione)
- 240 µg/m³, 1h – D.Lgs.155/2010 (soglia di allarme)
- 120 µg/m³, max 8h – D.Lgs.155/2010 (valore bersaglio soglia di protezione salute umana).

Monossido di Carbonio (CO)

Il monossido di carbonio è un gas incolore, inodore e insapore prodotto dai processi di combustione incompleta di materiali contenenti carbonio. La sua concentrazione nell'aria, lontano da sorgenti naturali o artificiali di emissione, è estremamente bassa (0,009-0,200 ppm) grazie all'esistenza di



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

meccanismi naturali di eliminazione (ossidazione atmosferica a CO₂, solubilizzazione in acqua, metabolizzazione da parte di microrganismi, trasformazione in CO₂ e metano da parte di alcuni vegetali). Fonti naturali di tale gas sono rappresentate da incendi boschivi, eruzione di vulcani, reazioni di ossidazione del metano.

Sorgenti artificiali in grado di produrre elevate concentrazioni atmosferiche di CO sono rappresentate dal traffico veicolare (circa l'80% delle emissioni a livello mondiale), in particolare dai gas di scarico dei veicoli a benzina e da diversi impianti a combustione. La concentrazione di CO emessa dagli scarichi dei veicoli è strettamente connessa alle condizioni di funzionamento del motore: si registrano concentrazioni più elevate con motore al minimo ed in fase di decelerazione, condizioni tipiche di traffico urbano intenso e rallentato. L'evoluzione tecnologica dei motori veicolari ha consentito negli anni una significativa riduzione delle emissioni.

I processi di dispersione e di diluizione che il gas subisce sono condizionati dai parametri meteorologici, il più importante dei quali è costituito dalla velocità del vento.

L'effetto delle condizioni meteorologiche può, infatti, rendere, a parità di emissioni, le concentrazioni ambientali dell'inquinante estremamente variabili, ma pesa, ovviamente, in misura minore quando vengono considerate le concentrazioni medie di lungo periodo (ad esempio annuali). Dal punto di vista tossicologico, gli effetti dell'esposizione al monossido di carbonio sono correlati principalmente all'ipo-ossigenazione tessutale, causata dal legame del CO con l'emoglobina. La carbossiemoglobina (HbCO), caratterizzata dal ferro fortemente legato con il CO, non può più assolvere al suo fisiologico compito di trasportare l'ossigeno ai tessuti. Pertanto, se si superano determinati valori ematici di carbossiemoglobina, si può verificare una ridotta ossigenazione periferica. I principali effetti sulla salute umana osservati in seguito ad esposizione a basse dosi di CO sono a danno del sistema nervoso centrale e del sistema cardiovascolare.

Il limite normativo ambientale relativo al monossido di carbonio è il seguente:

- 10 mg/m³, 8h – D.Lgs.155/2010.

Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

Gli Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sono composti organici formati da due o più anelli aromatici condensati, sempre presenti in miscele, che si formano durante la combustione incompleta e la pirolisi di materiale organico e risultano inquinanti ubiquitari degli ambienti di vita



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

e di lavoro sotto forma sia di particolato sia di vapore, libero o adsorbito su particolato atmosferico (Serra, 2003).

Le principali fonti di emissione in ambito urbano sono costituite dagli autoveicoli alimentati a benzina o gasolio e dalle combustioni domestiche e industriali che utilizzano combustibili solidi o liquidi. Negli autoveicoli alimentati a benzina l'utilizzo di marmitte catalitiche ha ridotto l'emissione di IPA dell'80-90%. Per quanto riguarda i combustibili, la parziale sostituzione del carbone e degli oli combustibili con il gas naturale ai fini della produzione di energia ha costituito un indubbio beneficio anche in termini di emissioni di IPA. La diffusione della combustione di biomasse per il riscaldamento domestico, invece, va tenuta attentamente sotto controllo in quanto la quantità di IPA emessi da un impianto domestico alimentato a legna è 5 - 10 volte maggiore di quella emessa da un impianto alimentato con combustibile liquido (es. kerosene, gasolio da riscaldamento).

La lipofilità degli IPA ne influenza anche l'accumulo nei tessuti degli organismi esposti; la loro eliminazione dipende dalla capacità dell'organismo stesso di trasformarli in metaboliti idrosolubili, eliminabili attraverso l'escrezione.

Gli IPA possono manifestare il loro effetto tossico principalmente attraverso due tipi di interazione con le strutture cellulari: in primo luogo possono formare dei legami reversibili con siti lipofili che possono impedire i normali processi della cellula (tossicità acuta); secondariamente possono portare alla formazione di metaboliti idrofilici, reattivi ed elettrofili, che si legano alle strutture cellulari, provocando danni a lungo termine (tossicità cronica).

Numerosi studi hanno indicato che i composti a uno due e tre anelli aromatici sono estremamente tossici (Sims, 1983) mentre gli IPA a più alto peso molecolare sono considerati genotossici (Lijinsky, 1991; Mersch-Sundermann, 1992; Nylund, 1992; Phillips, 1983).

La sospetta cancerogenicità sarebbe correlata alla presenza di quattro o più anelli aromatici da cui prendono origine metaboliti quali i diidrodiolepossidi, nei quali il gruppo attivo tossicologicamente è collocato nella cosiddetta *bay region*, cioè l'ansa che si forma dalla fusione angolare di tre anelli aromatici.

L'interesse scientifico per questa classe di composti è legato soprattutto alla riconosciuta azione cancerogena che alcuni di questi hanno dimostrato.

Per questo motivo la United States Environment Protection Agency (EPA) e la World Health Organization (WHO) hanno identificato, all'interno di questa classe, 16 composti definiti



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

“inquinanti prioritari”: naftalene, acenaftilene, acenaftene, fluorene, fenantrene, antracene, fluorantene, pirene, crisene, benzo[a]antracene, benzo[b]fluorantene, benzo[k]fluorantene, benzo[a]pirene, dibenzo[a,h]antracene, benzo[ghi]perilene, indeno[1,2,3-cd]pirene. (Harvey, 1997; Neff, 1979).

Relativamente alla classificazione di cancerogenicità secondo lo SCOEL (Scientific Committee on Occupational Exposure Limits, per la Comunità Europea): gli IPA appartengono “ai cancerogeni per i quali, in base alle conoscenze attuali, non è possibile identificare livelli di esposizione al di sotto dei quali non vi sia rischio di effetto cancerogeno. Nondimeno, a livello probabilistico si può formulare l'ipotesi che quanto più bassa è l'esposizione, tanto minore sarà il rischio di insorgenza di cancro.” (Metodologia per la derivazione dei limiti di esposizione professionale – Documento di riferimento – Relazione EUR 19253 IT - 1999). Posizione largamente diffusa e riconosciuta dal mondo scientifico.

Una tabella riassuntiva della classificazione relativa alla cancerogenicità studiata da vari enti internazionali è riportata di seguito (Tabella 1):

Tabella 6. Classificazione cancerogenicità degli IPA

IPA	IARC (2010)	ACGIH (2009)	EPA (2010)	REGOLAMENTO CLP
ACENAFTENE	3			
ACENAFTILENE			D	
ANTRACENE	3		D	
BENZ(a)ANTRACENE	2°	A2(L)	B2	Carc. 1B; H350
BENZO(a)PIRENE	1	A2(L)	B2	Carc. 1B; H350
BENZO(b)FLUORANT ENE	2B	A2(L)	B2	Carc. 1B; H350
BENZO(g,h,i)PERILEN E	3		D	
BENZO(k)FLUORANT ENE	2B		B2	Carc. 1B; H350
CRISENE	2B	A3(L)	B2	Carc. 1B; H350
DIBENZ(a,h)ANTRACENE	2°		B2	
FENANTRENE	3		D	
FLUORANTENE	3		D	
FLUORENE	3		D	
INDENO (1,2,3-cd) PIRENE	2B			



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

NAFTALENE	2B	A4	C	Carc. 2; H351
PIRENE	3		D	

Legenda:

- IARC:**
1. cancerogeno per l'uomo
 - 2A. probabile cancerogeno per l'uomo
 - 2B. possibile cancerogeno per l'uomo
 3. non classificabile per la sua cancerogenicità per l'uomo
 4. probabile non cancerogeno per l'uomo

- ACGIH:**
- A1. cancerogeno riconosciuto per l'uomo
 - A2. cancerogeno sospetto per l'uomo
 - A3. cancerogeno riconosciuto per l'animale con rilevanza non nota per l'uomo
 - A4. non classificabile come cancerogeno per l'uomo
 - A5. non sospetto come cancerogeno per l'uomo
 - L. l'esposizione deve essere mantenuta quanto più bassa possibile

- EPA:**
- B2. probabile cancerogeno per l'uomo
 - C. possibile cancerogeno per l'uomo
 - D. non classificabile come cancerogeno per l'uomo

- CLP:**
- H350: può provocare il cancro
 - H351: sospettato di provocare il cancro
 - 1B: si presumono effetti cancerogeni per l'uomo prevalentemente sulla base di studi su animali

Essendo il limite normativo ambientale IPA riferito al solo benzo[a]pirene per il quale è stata definita la soglia di riferimento pari a 1 ng/m^3 , anno civile – D.Lgs.155 /2010 (obiettivo di qualità), il monitoraggio ambientale è stato limitato a questo parametro.

Benzene

Il benzene è un composto organico aromatico formato da 6 atomi di carbonio e 6 di idrogeno, disposti ad esagono. E' incolore altamente infiammabile e dall'odore caratteristico. A temperatura ambiente e pressione atmosferica si presenta sotto forma di liquido ad elevata tensione di vapore e, quindi, molto volatile.

Si riscontra naturalmente nel petrolio greggio (livelli superiori a 4 g/l), mentre è prodotto accidentalmente in tutti i processi naturali o antropici che implicano combustione di materia organica (ad esempio fumo di sigaretta, combustione del legno, eruzione di vulcani, incendi).

La principale fonte di immissione artificiale di benzene in ambiente è rappresentata complessivamente dai processi di produzione, stoccaggio, trasporto, volatilizzazione e combustione della benzina per auto (che può contenerlo fino ad un massimo dell'1% in volume permesso dalla normativa italiana e comunitaria – direttiva 2003/17/CE; D.Lgs 66/05), infatti viene da tempo utilizzato come antidetonante in alternativa al Piombo.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

La maggior fonte di esposizione per la popolazione generale deriva dai gas di scarico degli autoveicoli, in particolare dei veicoli alimentati a benzina; stime effettuate a livello dell'Unione Europea attribuiscono a questa categoria di veicoli più del 70% del totale delle emissioni di benzene.

L'ampia variabilità dei livelli di benzene aerodispersi è connessa a una serie di variabili meteorologiche (variazioni stagionali e giornaliere), socio-economiche (volume di traffico giornaliero ed orario) e geografiche (distribuzione degli assi stradali principali, morfologia del territorio). Generalmente i valori sono minori nelle aree rurali e più alti nelle aree industriali, presso discariche di rifiuti pericolosi, raffinerie, industrie petrolchimiche e stazioni di servizio.

Il benzene depositato in acqua o nel terreno può andare incontro a biodegradazione, che, in condizioni aerobiche, avviene nel giro di poche ore o giorni, mentre in condizioni anaerobiche avviene più lentamente, nell'ordine di giorni o mesi.

Il benzene penetra nell'organismo principalmente per via inalatoria; tuttavia può essere assorbito per via digestiva e per via cutanea, in particolare se l'esposizione è elevata.

Gli effetti tossici correlati all'esposizione a benzene comprendono:

- *intossicazione acuta*: l'inalazione di vapori di benzene produce effetti a carico del SNC; l'esposizione a concentrazioni comprese fra 250 e 500 ppm determina l'insorgenza dei primi effetti caratterizzati da disturbi dell'equilibrio, cefalea, nausea e vertigini; a concentrazioni superiori (1.500 ppm), dopo un iniziale effetto eccitante che si manifesta con euforia, compare sonnolenza, astenia, perdita di coscienza con possibili crisi convulsive e coma; l'exitus può intervenire per paralisi dei centri bulbari. L'esposizione a concentrazioni superiori a 2.000 ppm è rapidamente fatale. L'inalazione di elevate concentrazioni del tossico può provocare polmonite chimica ed edema polmonare emorragico. Soggetti cardiopatici sono maggiormente a rischio di sviluppare aritmie cardiache in seguito all'esposizione a benzene, in quanto il tossico determina un aumento della sensibilità del muscolo cardiaco all'effetto delle catecolamine endogene;
- *intossicazione cronica*: il benzene è in grado di determinare un danno del midollo osseo che può assumere aspetti polimorfi, differentemente definiti come "benzolismo" o "benzenismo". Osservazioni recenti suggeriscono che il benzene epossido sia il vero responsabile della tossicità sul tessuto midollare: sembra che a questo livello, negli eritroblasti, esista un'attività monossigenasica capace di formare benzene epossido, il quale può stabilire un legame covalente



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

con strutture macromolecolari come quelle degli acidi nucleici, dando origine ad addotti del DNA e dell'RNA. Secondo altri Autori sarebbe invece il fenolo il mediatore più importante del danno midollare; da esso infatti, dopo idrossilazione a idrochinolo e catecolo, si producono i benzochinoni corrispondenti. Generalmente il quadro clinico prodotto è una progressiva riduzione del numero di piastrine, globuli bianchi ed eritrociti fino all'aplasia midollare, verosimilmente conseguenza della riduzione dell'attività replicativa e/o maturativa delle cellule staminali. Il quadro clinico, il decorso e la prognosi dell'aplasia indotta dal benzene non differiscono da quelli delle forme a eziologia diversa. Alcuni fattori di suscettibilità individuale possono svolgere un ruolo importante. Fra le modificazioni che più frequentemente precedono l'effetto mielodepressivo si segnalano macrocitosi, aumento della fragilità osmotica e riduzione della vita media degli eritrociti, anomalie morfologiche e funzionali dei polinucleati con riduzione del potere fagocitario e dell'attività della fosfatasi alcalina leucocitaria, alterazione della funzione piastrinica ed aumento della quota di emoglobina fetale. Ad uno stadio più avanzato possono comparire anemia e policitemia, leucopenia e leucocitosi. Tuttavia l'evoluzione progressiva è verso un quadro pancitopenico midollare. I sintomi connessi con lo stabilirsi delle alterazioni ematologiche sono rappresentati da diatesi emorragiche (porpora, sanguinamento gengivale, epistassi, ecchimosi, emorragie cerebrali), infezioni (gengiviti, stomatiti, angine catarrali) e da una sintomatologia connessa con lo stato anemico (cefalea, vertigini, pallore, astenia, irritabilità). L'esame citologico del midollo osseo rivela un quadro di ipocellularità, con predominanza di linfociti ed aumento del tessuto adiposo in sostituzione di quello eritropoietico. Il rischio di sviluppare aplasia midollare risulta molto elevato quando si verificano esposizioni a concentrazioni ambientali superiori a 50 ppm (160 mg/m³) della durata anche solo di pochi giorni. Il benzene può anche provocare forme di leucemia (mieloblastica acuta, mielomonocitica acuta, promielocitica ed eritroleucemia). È discussa la correlazione fra esposizione a benzene e altre forme neoplastiche dell'apparato emolinfopoietico (Pira E et al, 2016).

I limiti normativi ambientali relativi al benzene sono i seguenti:

- 5 µg/m³, anno civile – D.Lgs.155/2010 (valore limite)
- 5 µg/m³, anno civile – European Air Quality Standards.



RUMORE

Un rumore può essere descritto dallo spettro di frequenza, dalle variazioni nel tempo o anche dall'ambiente in cui si propaga.

Lo spettro di frequenza può essere a frequenze discrete (toni puri), continuo (tutte le frequenze contribuiscono a comporre il segnale acustico), oppure continuo con alcune componenti tonali (ad esempio il sibilo di un fluido in una condotta che sovrasta il rumore dell'ambiente).

Dal punto di vista della variazione nel tempo i rumori si dividono in due classi: rumori stazionari e rumori non stazionari. I primi sono quei rumori in cui le fluttuazioni di livello sonoro e/o di frequenza non variano nel tempo (ad esempio, un ventilatore in funzione); i rumori non stazionari (che rappresentano la quasi totalità dei rumori che ci circondano) sono caratterizzati da un livello notevolmente variabile e possono essere: fluttuanti (quando il livello varia di molto e in modo continuo), intermittenti (quando il livello sonoro rimane costante per almeno 1 secondo), impulsivi (quando il rumore consiste in uno o più fenomeni acustici della durata inferiore ad 1 secondo) (Pira E et al, 2016).

Gli effetti sulla salute umana correlati all'esposizione al rumore sono dipendenti da numerose variabili, come le caratteristiche fisiche del fenomeno, i tempi e le modalità di manifestazione dell'evento sonoro e la specifica sensibilità del soggetto esposto. Tali effetti vengono classificati in:

- effetti di danno, ovvero alterazioni non reversibili o non completamente reversibili, identificabili da un punto di vista clinico e/o anatomopatologico;
- effetti di disturbo, ovvero alterazioni temporanee delle condizioni psicofisiche del soggetto, che siano chiaramente obiettivabili, determinando effetti fisiopatologici ben definiti;
- sensazione di disturbo e fastidio genericamente intesa (annoyance).

L'inquinamento acustico può causare danni alla salute sia di tipo uditivo sia di tipo extra uditivo, coinvolgendo l'intero organismo.

Il danno da rumore a carico dell'apparato uditivo può essere di tipo acuto quando si realizza in un tempo breve a seguito di una stimolazione particolarmente intensa (scoppio, esplosione, ecc.), oppure di tipo cronico quando evolve nel corso degli anni a seguito di un'esposizione prolungata ad



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

elevati livelli di rumore, condizione che si verifica tipicamente, nel caso dell'esposizione professionale in determinati ambienti di lavoro.

Il rumore, pur non raggiungendo livelli di rischio per l'apparato uditivo (80 dB), può agire su tutto l'organismo come un agente stressogeno ambientale, attivando i meccanismi fisiologici di risposta allo stress attraverso il sistema nervoso autonomo ed il sistema endocrino.

Gli effetti sistemici si manifestano principalmente a livello del sistema cardiovascolare, psichico e cognitivo determinando incrementi dei valori pressori, accelerazione del battito cardiaco e fenomeni di vasocostrizione periferica.

La sensibilità al rumore influenza, inoltre, sia i disturbi del sonno con un possibile aumento dell'irritabilità e riduzione delle performance diurne, sia la cosiddetta "noise annoyance", una sensazione di scontento o di fastidio generico, spesso influenzata oltre che dalla specifica sensibilità del soggetto, da fattori non legati all'esposizione e da fattori motivazionali.

Il danno determinato dalle fonti di rumore sembra essere mediato dalla sensibilità al rumore (noise sensitivity), la quale è condizionata da aspetti della personalità e dal genere (le donne sono più sensibili).

I valori di riferimento della popolazione sono riferibili alla Legge quadro n.447 del 26 ottobre 1995. La Legge si compone di 17 articoli e ha la finalità di stabilire i principi in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico.

A questa Legge, che ha definito il "quadro di riferimento", sono collegati una serie di decreti attuativi e le leggi regionali. Il DPCM 14 novembre 1997 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore" è un provvedimento chiave per l'attuazione della legge 447/1995, che vede l'introduzione dei valori di emissione (valore massimo che può essere emesso da una sorgente, Tabella 2), di immissione (assoluto e differenziale; valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno, Tabella 3), di attenzione (rumore che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana o per l'ambiente) e di qualità del rumore nell'ambiente esterno e negli ambienti abitativi (obiettivo da conseguire nel breve, medio e lungo periodo) e consente ai comuni di svolgere attività di pianificazione e di programmazione sul proprio territorio, con le modalità previste dalla Legge quadro.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Tabella 7. Valori limite assoluti di emissione riferiti alle sorgenti fisse e mobili stabiliti dal DPCM 14/11/97 (art.2 e tabella B).

classi di destinazione d'uso del territorio	tempi di riferimento	
	diurno (06.00-22.00)	Notturmo (22.00-06.00)
I aree particolarmente protette	45	35
II aree prevalentemente residenziali	50	40
III aree di tipo misto	55	45
IV aree di intensa attività umana	60	50
V aree prevalentemente industriali	65	55
VI aree esclusivamente industriali	65	65

Tabella 8. Valori limite assoluti di immissione per l'ambiente esterno fissati dal DPCM 14/11/97 (art.3 e tabella C).

classi di destinazione d'uso del territorio	tempi di riferimento	
	diurno (6.00-22.00)	notturno (22.00-6.00)
I aree particolarmente protette	50	40
II aree prevalentemente residenziali	55	45
III aree di tipo misto	60	50
IV aree di intensa attività umana	65	55
V aree prevalentemente industriali	70	60
VI aree esclusivamente industriali	70	70

VIBRAZIONI

Le vibrazioni negli edifici possono essere determinate, oltreché da cause naturali (fenomeni sismici, vento, ecc.), anche da attività riconducibili all'uomo; il funzionamento di macchine (magli, presse, telai, ecc.), il traffico su rotaia e su gomma (treni, metropolitana, tram, camion, ecc.), i lavori stradali ed edili (escavazioni, infissione pali, ecc.), i lavori di cava (detonazioni di cariche esplosive, ecc.) possono infatti sollecitare gli edifici e costituire una fonte di disturbo per i soggetti che vi risiedono.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Vibrazioni e disturbi soggettivi

Le vibrazioni trasmesse agli edifici sono di entità tale da non determinare effetti di tipo organico nei soggetti esposti. A questo proposito si può osservare che le accelerazioni verticali negli edifici (dell'ordine di $5-40 \text{ mm/s}^2$) sono di gran lunga inferiori a quelle che possono determinare effetti sul rachide. In alcune situazioni le vibrazioni, di entità relativamente elevata, possono essere tollerate. Si tratta in genere di vibrazioni limitate nel tempo per eventi di breve durata.

Per quanto riguarda la sensibilità, deve essere tenuto presente che la soglia di percezione umana può variare significativamente da soggetto a soggetto. Persone particolarmente sensibili potrebbero quindi essere disturbate anche da vibrazioni di intensità molto bassa.

Va infine rammentato che le vibrazioni negli edifici possono interrompere il sonno dei soggetti esposti e quindi peggiorare il disturbo.

Devono essere considerati come effetti secondari delle vibrazioni:

- a) il rumore trasmesso dalla sorgente per via strutturale (le vibrazioni prodotte dalla sorgente si propagano attraverso le strutture e queste ultime re-irradiano il rumore all'interno dei locali);
- b) il rumore trasmesso dalla sorgente per via aerea (dalla sorgente di vibrazioni al soggetto ricevente);
- c) l'oscillazione di lampadari, suppellettili, il tremolio delle finestre;
- d) lo scricchiolio di suppellettili, porte, finestre.

Dato che l'effetto delle vibrazioni può essere diverso a seconda della tipologia delle vibrazioni, va considerato se esse sono continue o semicontinue (determinate ad esempio da lavorazioni industriali), permanenti, ma in modo non continuativo (determinate ad esempio dal traffico), o di durata limitata (determinate ad esempio da cantieri edili o stradali).

Gli eventi impulsivi e gli *shocks* possono rientrare in tutti e tre i casi precedenti; ad esempio il colpo di maglio o di battipalo, la deflagrazione di una carica esplosiva. In questi casi devono essere considerati il numero e la collocazione oraria degli eventi giornalieri, settimanali, mensili e annuali. In mancanza di specifici riferimenti legislativi, i metodi di misura delle vibrazioni presenti negli edifici, al fine della valutazione del disturbo, sono definiti dalle norme UNI 9614 del 1990 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo", UNI EN ISO 2631-1 2008 "Vibrazioni meccaniche e urti – Valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse al



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

corpo intero; ISO 2631/2 (2003) "*Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 2: Vibration in buildings (1 to 80 Hz)*".

Misurazioni

La norma UNI 9614 del 1990 prevede metodi di misura e di valutazione differenti a seconda che le vibrazioni siano di livello costante o variabile oppure siano impulsive. Le prime sono determinate da macchine quali i telai impiegati nelle aziende tessili o dal traffico su rotaia e su gomma, le seconde sono originate da eventi di breve durata (impatti) determinati da magli, presse, battipalo, ecc.; tali eventi sono contraddistinti da un rapido innalzamento del livello dell'accelerazione sino ad un valore massimo seguito da un decadimento che può comportare, a seconda dello smorzamento della struttura, una serie di oscillazioni che tendono ad estinguersi nel tempo.

Assi di propagazione delle vibrazioni

Gli assi di propagazione delle vibrazioni vengono riferiti alla persona del soggetto esposto: l'asse x passa per il dorso e il torace, l'asse y per le due spalle, l'asse z per i piedi e la testa (per i glutei e la testa se il soggetto è seduto). L'asse verticale di un edificio coincide con l'asse z se il soggetto è in piedi o seduto, con l'asse x se il soggetto è disteso.

Secondo la norma UNI 9614, la sensibilità umana alle vibrazioni è diversa lungo i tre assi, e quindi, per ottenere l'accelerazione ponderata, occorre applicare a ciascuno dei tre segnali un diverso filtraggio, prima di sommarli.

Vibrazioni di livello costante o variabile

Le vibrazioni di livello costante o variabile, di tipo non impulsivo, vengono rilevate misurando il valore efficace (rms) dell'accelerazione oppure il corrispondente livello: l'accelerazione viene espressa in m/s^2 , il livello dell'accelerazione in dB. Vengono prese in esame le accelerazioni di frequenza compresa tra 1 e 80 Hz. La percezione delle vibrazioni da parte dei soggetti esposti varia a seconda della frequenza e dell'asse di propagazione. La sensibilità è massima negli intervalli di frequenza compresi tra 4 e 8 Hz nel caso dell'asse z e tra 1 e 2 Hz nel caso degli assi x e y ; all'esterno di tali intervalli la sensibilità via via si riduce.

Dato che gli effetti delle vibrazioni di frequenza diversa sono cumulativi, va considerata la somma delle diverse componenti. Tale somma può ovviamente essere effettuata solo dopo aver attenuato le



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

componenti esterne agli intervalli di massima sensibilità, in modo da rendere tutte le componenti omogenee in termini di disturbo. Questa procedura prende il nome di ponderazione in frequenza.

Tabella 9. Limite per le vibrazioni di livello costante o variabile (espressi in mm/s^2)

<i>Aree o edifici</i>	<i>Asse z</i>	<i>Assi x e y</i>
Aree critiche	5.0	3.6
Abitazioni (di notte)	7.0	5.0
Abitazioni (di giorno)	10.0	7.2
Uffici	20.0	14.4
Fabbriche	40.0	28.8

I valori limite di accelerazione equivalente ponderata in frequenza previsti dalla norma UNI 9614, sono stati a loro volta ripresi dalla norma ISO 2631/2.

Vanno sottolineati tre aspetti:

- ai fini del disturbo, la valutazione delle vibrazioni deve ovviamente riferirsi alla soglia della loro percezione;
- i limiti sono stati fissati anche in considerazione della diversa sensibilità delle persone: la soglia di percezione per i soggetti più sensibili si dovrebbe collocare a 5.0 (asse z) e a 3.6 (assi x e y) mm/s^2 , mentre la soglia per la media delle persone si dovrebbe collocare a valori leggermente più alti;
- i limiti non dipendono dalla durata; non è tanto la durata delle vibrazioni che determina il disturbo, quanto il fatto stesso che esse si verificano.

Vibrazioni impulsive

Nel caso di vibrazioni impulsive si rileva con strumentazione dotata dei filtri di ponderazione il valore di picco dell'accelerazione ponderata in frequenza e si moltiplica tale valore per il fattore 0,71 al fine di stimare il corrispondente valore efficace. Il valore efficace così calcolato va confrontato con i limiti riportati nella Tabella 5 seguente qualora il numero degli eventi impulsivi giornalieri sia pari o inferiore a 3. Nel caso il numero degli eventi impulsivi giornalieri sia superiore a 3, i limiti riportati nella tabella 3, relativi alle abitazioni di giorno, agli uffici e alle fabbriche, vengono diminuiti in base alla quantità di eventi e alla loro durata, moltiplicandoli per il fattore F . Nessuna diminuzione è prevista per i limiti relativi alle aree critiche e alle abitazioni di notte.



Tabella 10. Limiti per le vibrazioni impulsive (espressi in mm/s^2)

<i>Aree o edifici</i>	<i>Asse z</i>	<i>Assi x e y</i>
Aree critiche	5.0	3.6
Abitazioni (di notte)	7.0	5.0
Abitazioni (di giorno)	300	220
Uffici e fabbriche	640	460

RADIAZIONI IONIZZANTI

Per Radiazioni Ionizzanti (RI) si intendono quelle radiazioni capaci di determinare, direttamente o indirettamente, la ionizzazione della materia, fenomeno che consiste nel distacco di un elettrone dall'orbita periferica di un atomo, con conseguente formazione di uno ione di carica positiva e di uno ione di carica negativa (elettrone). L'energia necessaria per tale lavoro è pari almeno a 10 eV (1 eV = energia cinetica acquistata da un elettrone per la differenza di potenziale di 1 Volt). Le radiazioni con energia inferiore non possiedono questa proprietà: l'atomo eventualmente colpito aumenta il suo livello energetico, acquistando una reattività chimica maggiore. L'atomo in questione è definito "eccitato" e le radiazioni capaci di indurre il fenomeno sono dette "eccitanti".

Sono ionizzanti (Tabella 6) le radiazioni α , β , γ , raggi X, neutroni e protoni; in parte di natura corpuscolata (α , β , neutroni, protoni), in parte di natura elettromagnetica (raggi X, γ).

Le prime hanno massa variabile e sono materia, le seconde sono costituite da quanti di energia, o fotoni.

Tabella 11. Classificazione delle Radiazioni Ionizzanti

Tipi	Natura	Massa	Carica elettrica	Origine
Raggi X	Elettromagnetica	0	0	Tubi coolidge
Raggi γ	Elettromagnetica	0	0	^{60}Co , ^{192}Ir
Raggi α	Corpuscolata, nuclei elio	4	++	^{232}Th , ^{212}Po



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Raggi β	Corpuscolata,	1/2.000 atomo	-	^{90}Sr , ^{12}B
	elettroni	H		
neutroni	Particelle nucleare	1	0	^{235}U -fissione

Fonti di esposizione

Le persone esposte in Italia, per motivi professionali, ammontano a circa 20.000, di cui la metà nel solo settore sanitario, per attività di diagnostica strumentale e con isotopi marcati e per trattamenti di radioterapia. Le sorgenti di irradiazione artificiali interessano, comunque, solo una parte della popolazione con modalità e tempi diversi e si aggiungono alle sorgenti naturali (cosmiche, terrestri, irradiazione interna), che coinvolgono la popolazione in generale in modo continuo nel tempo e che ammontano, mediamente, a circa 2 mSv/anno.

Tra le fonti naturali, è stata posta attenzione al radon, gas inodore, insapore ed invisibile, che proviene dal terreno, derivante dal decadimento dell'uranio 238 (radon 222) e del torio (radon 220).

Effetti biologici e clinici

Per quanto riguarda la sede d'azione, le RI possono determinare effetti lesivi a livello (Tabella 7): a) molecolare; b) sub-cellulare e cellulare; c) tessutale e d'organo; d) dell'organismo in toto; e) della popolazione nel suo insieme.

Tabella 12. Effetti biologici e clinici delle Radiazioni Ionizzanti

Livello	Alterazioni
<i>Molecolare</i>	Denaturazione di proteine, lesioni filamenti DNA e RNA (rottura, cross-linking, denaturazione, ecc.), turbe vie metaboliche.
<i>Subcellulare – cellulare</i>	
Nucleo in mitosi	Blocco metafase, rotture cromosomiche, mutazioni
Nucleo in riposo	Piccosi, cariolisi, carioressi
Reticolo endoplasmatico	Degranulazione ribosomi, blocco sintesi proteine
Mitocondri	Rigonfiamento torbido, rottura creste, squilibri energetici
Lisosomi	Attivazione idrolisi, autofagia
<i>Tessutale – d'organo</i>	
Emopoietico	Ipoplasia midollare, leucemie
S. immunitario	Immunodepressione
Gastroenterico	Ulcerazioni
Occhio	Cataratta
Gameti	Ipoplasia
Cute	Radiodermiti, metaplasia carcinomatosa



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Organismo in toto

Morte, neoplasie maligne

Popolazione nel suo insieme

Modificazioni genetiche e cromosomiche

Danno tessutale-d'organo

Si definiscono radiosensibili le cellule a elevato ritmo mitotico, morfologicamente e funzionalmente indifferenziate, e radioresistenti le cellule di caratteristiche opposte. Sono radiosensibili il midollo osseo, le linee germinali dell'ovaio e del testicolo, l'epitelio intestinale e la cute. Sono radioresistenti il fegato, i reni, i muscoli, il cervello, le ossa, le cartilagini e il connettivo.

Le lesioni prodotte dalle RI sugli organi sono in rapporto con le caratteristiche morfologiche e funzionali dei tessuti che li compongono.

Cute. A carico della cute si osservano manifestazioni infiammatorie, nelle loro varie fasi, che vanno dall'eritema all'essudazione, alla necrosi, all'ulcerazione, denominate radiodermiti. Di esse sono caratteristiche la moderata tendenza alla guarigione e la frequenza con cui possono andare incontro alla trasformazione neoplastica, che sarà tanto maggiore quanto più a lungo ha agito il trattamento radiante (in passato, radiologi e ortopedici). Frequenti sono anche i fenomeni d'iperpigmentazione (da melanina), di ipercheratosi e di atrofia. Facilmente si osserva caduta dei capelli, per necrosi dei follicoli.

Midollo osseo. Particolarmente gravi sono gli effetti sugli organi emopoietici, di tipo ipoplasico o aplasico; il blocco dell'attività riproduttiva e maturativa provoca precocemente una diminuzione degli elementi figurati del sangue circolante (leucopenia, anemia, piastrinopenia).

La radiosensibilità diminuisce col procedere del processo maturativo delle cellule, per cui gli elementi circolanti sono praticamente insensibili, ad eccezione del linfocita.

Nella sindrome acuta da radiazione si possono osservare, in linea generale, i seguenti profili degli elementi figurati del sangue:

- Linfociti: diminuzione massima in 3-4 giorni, che persiste per alcune settimane (5-6), e ritorno alla normalità in circa 6 mesi.
- Neutrofili: iniziale aumento (da depositi tissutali), seguito da una prima diminuzione, entro due settimane circa, che progredisce entro 20-30 giorni (periodo delle infezioni).
- Piastrine: precoce calo (entro poche ore) con un minimo nell'arco di 1 mese (periodo delle emorragie) e possibile ritorno alla normalità entro 40-50 giorni.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Difese immunitarie. Anche le difese immunitarie diminuiscono: si osserva riduzione della formazione di anticorpi, blocco della fagocitosi, inattivazione del complemento specie della frazione C₁.

Gonadi. A livello delle gonadi si rileva riduzione più o meno marcata della formazione dei gameti. Nel testicolo, per dosi elevate (5-8 Gy) si può ottenere la sterilità definitiva, per dosi basse (0,15-1 Gy) ipozoospermia transitoria. Analogamente, nelle ovaie, scompaiono in fase iniziale i follicoli e, poi, le cellule interstiziali.

Rene. A carico del rene è stata descritta una nefropatia caratterizzata da alterazioni dei capillari glomerulari, a tipo necrosi fibrinoide, in casi di terapia con dosi elevate di raggi X applicate sull'addome, per esempio per neoplasie testicolari e ovariche.

Mucosa intestinale. La mucosa intestinale tende a necrotizzarsi e ad ulcerare con possibili emorragie e infezioni.

Fegato ed altri parenchimi. Il fegato e gli altri parenchimi possono presentare tutta la gamma delle lesioni di tipo degenerativo fino alla necrosi, e focolai emorragici. Particolarmente radiosensibile è il surrene, specie lo strato corticale, ove è dato spesso di osservare cospicue emorragie parenchimali. Ciò spiega come l'insufficienza surrenalica possa complicare, con una certa frequenza, un'esposizione alle radiazioni.

Occhio. A carico dell'occhio si può osservare cataratta, per dosi superiori (in unica dose) a 5 Gy.

Sistema nervoso. Le cellule del sistema nervoso presentano lesioni regressive reversibili, ma più spesso irreversibili. Poiché sono cellule perenni, una volta distrutte, non rigenerano e ne consegue un danno permanente.

Polmone. Questa localizzazione ha una valenza storica in quanto carcinomi bronchiali furono descritti nei minatori di uranio dello Schneeberg e dello Joachimstahl.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Ossa. Sono noti, per la peculiarità dell'attività lavorativa, i sarcomi a localizzazione mandibolare delle pittrici dei quadranti "fosforescenti" degli orologi, che appuntivano i fini pennelli umettandoli fra le labbra per ottenere maggiore precisione nel tratto.

Organismo in toto Gli effetti delle RI sono classificati in somatici (stocastici e non stocastici) e genetici (stocastici).

I somatici stocastici sono casuali, non dose dipendenti e sono privi di dose-soglia (per esempio le neoplasie). I somatici non stocastici sono, di contro, dose-dipendenti ed hanno una dose-soglia (ad esempio, radiodermiti e cataratta).

Gli effetti genetici, stocastici, sono quelli sulla progenie e riguardano mutazioni geniche ed alterazioni cromosomiche.

Gli effetti delle RI, in rapporto all'epoca di comparsa rispetto all'esposizione, possono essere classificati in: 1) immediati sull'individuo irradiato; 2) tardivi sull'individuo irradiato; 3) ereditari sulla progenie dell'individuo irradiato; 4) sulla prima generazione dell'individuo irradiato.

1) Effetti immediati sull'individuo irradiato Si ricordano le sindromi da pan-irradiazione e da irradiazione parziale.

Sindromi da panirradiazione

Sono stati descritti 4 livelli di sopravvivenza, con relativi quadri clinici, in funzione della dose (in Gy) e della durata.

- con dosi >30-50 Gy, la sopravvivenza è di poche ore ed è correlata a danni del sistema nervoso; per dosi minori, si possono evidenziare una sindrome gastroenterica (10-30 Gy), di durata di circa 6-10 giorni, ed una sindrome midollare (4,5-10 Gy), di durata leggermente maggiore. Anche in questo caso la sopravvivenza è virtualmente impossibile;
- con dosi di 2-4,5 Gy, la sopravvivenza è considerata possibile: i quadri clinici sono caratterizzati da gravi infezioni (da agranulocitosi) e da emorragie;
- con 1-2 Gy, la sopravvivenza è probabile e i sintomi sono legati a una sindrome midollare molto attenuata;
- con dosi < 1 Gy, la sopravvivenza è considerata sicura e i soggetti sono asintomatici.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Indicatore importante della gravità del quadro clinico, come esposto in precedenza, è la linfopenia mentre indice sensibile della dose assorbita è la dosimetria citogenetica (che può, essere ottenuta utilizzando i linfociti circolanti).

Sindromi da irradiazione parziale

Si fa riferimento al midollo, alle gonadi, al cristallino, alla cute, come già accennato in precedenza. Va sottolineato che gli effetti cronici, da dosi ripetute, hanno una chiara connotazione professionale, in quanto relativi, per lo più, a tecnici ed operatori sanitari.

2) Effetti tardivi sull'individuo irradiato

Comprendono tumori solidi (polmoni, tiroide, ossa) e leucemie, tranne le linfatiche croniche.

I dati sono il risultato dell'osservazione dei sopravvissuti di Hiroshima e Nagasaki, dei lavoratori delle miniere di uranio e dei pazienti sottoposti a terapia radiante: studi epidemiologici hanno evidenziato un'incidenza aumentata in esposti a dosi maggiori di 0,5 Sv.

3) Effetti ereditari sulla progenie dell'individuo irradiato

Compaiono dopo molti anni dall'irradiazione e sono costituiti da mutazioni geniche e da aberrazioni cromosomiche, trasmesse alla progenie del soggetto irradiato.

Sono stati evidenziati negli animali di laboratorio, non ancora con certezza nell'uomo. Al riguardo, si ricorda che nei bambini nati da soggetti irradiati nelle esplosioni di Hiroshima e Nagasaki non sono stati osservati effetti di questo tipo.

4) Effetti sulla prima generazione dell'individuo irradiato

Comprendono effetti somatici nel feto ed effetti ereditari.

Per quanto riguarda i primi, è ammessa, da alcuni studi epidemiologici, una correlazione tra tumori ed irradiazione in utero.

Popolazione nel suo insieme Si tratta di effetti tardivi consistenti in modificazioni genetiche ed alterazioni cromosomiche a carico dei singoli individui.

I limiti di esposizione per la popolazione e per i lavoratori sono regolamentati dal D.Lgs. 230/95 e s.m.i. (D.Lgs. 241/00 e D.Lgs. 257/01):

- 1 mSv/anno dose efficace



- 15 mSv/anno dose equivalente al cristallino
- 50 mSv/anno dose equivalente a pelle ed estremità.

AMIANTO

L'amiante o asbesto è un minerale fibroso che deriva per metamorfismo (trasformazione) idrotermico e dinamico da rocce madri non necessariamente fibrose. Si distinguono diverse varietà di asbesto, ciascuno con una specifica composizione chimica (Figura 5 e Tabella 8).

Figura 5. Classificazione delle differenti varietà di asbesto.

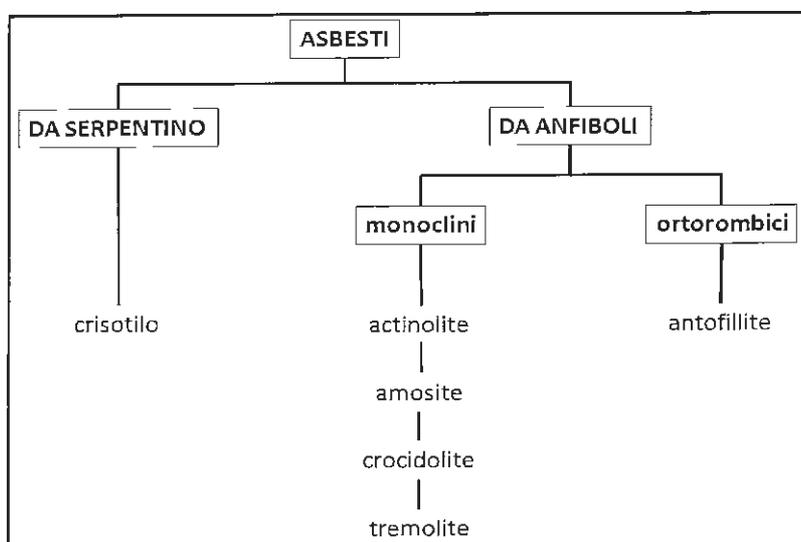


Tabella 13. Composizione chimica delle varietà di asbesto

Crisotilo: $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	
Tremolite: $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_4$	
Crocidolite: $Na_2Fe_5Si_8O_{22}(OH)_2$	Antofillite: $(Mg, Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$
Amosite: $(Mg, Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$	Actinolite: $Ca_2(Mg, Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$

La varietà più comune è il crisotilo, o amianto bianco, che deriva dal serpentino: buona parte delle nostre Alpi, dalle Marittime alle Graie, sono fatte di questa roccia silicatica verdastra, e questo spiega la presenza della grande cava di Balangero, presso Lanzo, a circa 30 Km da Torino, sfruttata per circa 80 anni, e di quelle più piccole di Emares, in Val d'Aosta, e della Valtellina. Il crisotilo ha da sempre rappresentato il 93%-95% della produzione mondiale di amianto, con due epicentri:



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

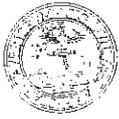
uno nel Quebec, a Tethford, ed un altro nella Russia Asiatica, a ridosso degli Urali, nella zona di Sverdlosk.

Ci sono poi gli amianti di anfibolo, così detti per la comune classe mineralogica di appartenenza, nel tempo ricavati e commercializzati in tre varietà, di cui le principali la crocidolite o amianto blu e l'amosite o amianto bruno. Morfologicamente gli amianti di anfibolo sono fibre rettilinee, aghiformi, appuntite nel caso della crocidolite, più tozze e tronche negli altri casi. Il crisotilo presenta invece una struttura "a ricciolo".

Caratteristiche delle fibre degli amianti sono la flessibilità, l'elasticità, la grande resistenza alla trazione, che hanno fatto di crisotilo e crocidolite due fibre tessili; le proprietà ignifughe, di resistenza agli attacchi chimici, di coibentazione nei confronti sia del calore sia del rumore, di resistenza all'usura. Del tutto peculiare, perché manca alle fibre minerali prodotte dall'uomo, è la loro attitudine a separarsi longitudinalmente in fibrille, numerose o numerosissime, sempre più sottili, con aumento incredibile della superficie disponibile per unità di peso, proprietà utilissima ai fini dell'adsorbimento di impurezze nei passati usi in filtrazione (dei vini e dei vermouth; del fumo di sigaretta) e dell'aumento della resistenza meccanica conseguente, negli usi come carica rinforzante dei cosiddetti materiali compositi.

Ne sono esempi il composito amianto-cemento, usato lungo tutto il secolo scorso in edilizia sotto forma di coperture piane o ondulate, di tubi, vasche, serbatoi, condotte, che ha preso il nome brevettato di Eternit, proprio per la sua lunga durata, ed il materiale d'attrito per i freni e le frizioni degli autoveicoli, ove il legante era una resina. Mentre in questa seconda applicazione si è sempre usato solo crisotilo (il 20%-70% in peso), nella prima, in cui l'amianto rappresentava il 15%-20% del composto, nelle condutture per l'industria chimica, ad esempio, era usata anche la crocidolite.

Tutti gli amianti sono idrosilicati microcristallini: come nella morfologia, anche nell'intima struttura esiste una fondamentale differenza fra crisotilo ed amianti di anfibolo: mentre questi ultimi presentano le unità silicatiche stratificate che si susseguono longitudinalmente sovrapposte all'infinito lungo l'asse della fibra, il crisotilo mostra una struttura concentrica, lasciando libera, "vuota", la parte assiale centrale. I diametri sono fini o finissimi, soprattutto per quanto riguarda crisotilo e crocidolite: fibre e fasci di fibre grossolani sono praticamente sempre al di sotto dei 2-3 μm , ma per lo più nell'ordine dei decimi, o addirittura, le fibrille, dei centesimi di μm (Pira E, Romano C: Manuale di Medicina del Lavoro. Minerva Medica. 2015).



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Fino al 1992, anno in cui in Italia venne imposto legislativamente il “banning”, l’amianto costituiva un materiale di comune impiego in edilizia ed in materiali di coibentazione di largo utilizzo.

Gli effetti dell’amianto sulla salute umana possono essere distinti in due prime grandi categorie:

- patologie non neoplastiche (alterazioni benigne della pleura e asbestosi) (Brown, 2003)
- patologie neoplastiche (tumore polmonare e mesotelioma maligno) (Brown, 2002).

Le placche pleuriche sono aree fibrotiche circoscritte della pleura parietale normalmente bilaterali, talora calcifiche (Parkes WR, 1994), localizzate prevalentemente alla parete toracica, al diaframma e più raramente alla pleura mediastinica ed al pericardio. Sono asintomatiche (Letourneux M, 1999; Andrion A et al, 1984) e non sono generalmente responsabili di un danno funzionale. Sono associate a tutti i tipi di amianto, ma la responsabilità degli amianti di anfibolo è più marcata rispetto a quella del crisotilo (Letourneux M, 1999). Possono essere la conseguenza di esposizioni anche solo di tipo ambientale o familiare (Craighead JE et al, 1982) e sono state riscontrate anche nella popolazione generale senza storia di esposizione ad amianto (Andrion A et al, 1983).

Il mesotelioma è il tumore più frequente e caratteristico della pleura. Questa neoplasia viene tradizionalmente distinta in due forme. La prima, benigna e meno frequente, è un tumore fibroso della pleura localizzato e a lenta crescita che trae origine dallo strato submesoteliale. Spesso peduncolato, in genere guarisce all'asportazione chirurgica. L'altra forma, più comune, mesotelioma maligno diffuso, aggressivo, invasivo, pressoché universalmente fatale. Le conoscenze epidemiologiche e di storia naturale consentono di identificare come principale fattore di rischio l'esposizione all' asbesto, anche se un'avvenuta esposizione rimane provata soltanto nell' 80% dei casi di mesotelioma maligno della pleura. E' nota la possibilità di insorgenza di tale neoplasia per esposizioni non professionali, di natura ambientale o domestica. Dosi anche straordinariamente piccole possono dare origine a malattia (Selikoff, 1978). La letteratura consolidata è di fatto unanime nel ritenere che il periodo medio di latenza tra l'inizio dell'esposizione e la diagnosi di mesotelioma pleurico sia intorno ai 40 o più anni (Russi MB et al, In: Rosenstock L e Cullen MR. Textbook of Clinical and Environmental Medicine, 1994; Rosenstock L e Cullen MR, 2005). La diagnosi differenziale deve essere posta, oltre che con le localizzazioni metastatiche di altri tumori, anche con le neoplasie primitive della pleura diverse dal mesotelioma (Guinee et al, 2008).

L'asbestosi è una fibrosi polmonare diffusa conseguente all'accumulo di fibre di asbesto nel polmone. È una patologia dose-dipendente. Il quadro anatomopatologico caratteristico è costituito da una fibrosi parenchimale lineare e reticolare, più evidente ai lobi inferiori (Scansetti G et al,



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

1985). Tale patologia presenta quadri clinici sintomatologici aspecifici e comuni ad altre patologie respiratorie polmonari, pertanto la radiografia del torace in Postero-Anteriore è di importanza determinante ai fini diagnostici, in associazione ad altri sussidi radiologici come la Tomografia Assiale Computerizzata ad Alta Risoluzione (HRTC).

Riguardo al rapporto causale tra amianto e tumore del polmone, nel Consensus Report: *“Asbestos, asbestosis, and cancer: the Helsinki criteria for diagnosis and attribution”* si sostiene che, prima di definire l'esistenza di un rapporto causale fra esposizione ad amianto e tumore del polmone, sia necessario considerare che: *“a causa dell'elevata incidenza del tumore del polmone nella popolazione generale, non è possibile dimostrare, nel singolo individuo, in termini deterministici precisi, che l'asbesto sia il fattore causale, anche quando è presente un quadro di asbestosi”*. Gli stessi esperti commentano che un criterio importante per l'attribuzione di un tumore ad un'esposizione ad asbesto è costituito dal livello di fibre di asbesto rilevate nel polmone. Per livelli molto bassi di esposizione ad amianto il rischio di tumore polmonare appare essere indefinibile. Il rischio relativo di sviluppare un tumore polmonare risulta grossolanamente raddoppiato in gruppi di soggetti con un'esposizione cumulativa ad asbesto di 25 fibre/cc/anni, cioè, ad esempio, un'esposizione ambientale di 1 fibra per centimetro cubo per 25 anni (Henderson D.W. et al, 2004). Pertanto per poter attribuire un tumore polmonare all'esposizione ad asbesto devono essere soddisfatti (anche non contemporaneamente) i seguenti criteri:

- 1) la presenza di asbestosi (intesa come indice di elevata esposizione) oppure
- 2) una stima di esposizione cumulativa pari o superiore a 25 fibre/cc/anni oppure
- 3) la presenza di almeno 5.000-15.000 corpuscoli dell'asbesto o 2 milioni di fibre anfiboliche per grammo di tessuto polmonare secco ($\lambda > 5 \mu\text{m}$) o 5 milioni se $\lambda > 1 \mu\text{m}$.

I valori di riferimento ambientali relativi all'amianto sono i seguenti:

- $< 1\text{f/L}$ (OMS)
- $< 2\text{ff/L}$ - D.M. 6/9/1994 (restituibilità dei locali dopo interventi di bonifica da amianto).

Rumore a parte, per tali pericoli sono stati esaminati i solli effetti dovuti alla inalazione del pericolo stesso (esposizione in atmosfera), avendo considerato tale effetto predominante (per non dire esclusivo) in termini di esposizione rispetto a quelli legati all'esposizione per ingestione o all'esposizione cutanea.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

I potenziali effetti avversi sulla salute delle tipologie di pericoli allo studio sono riconducibili, così come emerge in termini generali dalle evidenze di letteratura, ad eventi cancerogeni (esempio: tumori totali o tumori di una specifica sede), eventi non cancerogeni (esempio: ricoveri per patologie non oncologiche) ed effetti tossici.

In termini generali ed adottando un principio di cautela, si sono considerati come eventi avversi sia classi specifiche di eventi (esempio: tumore del polmone, malattie cardiocircolatorie), sia quelle classi di eventi di tipo più generale (esempio: tumori vs tumori del polmone) all'interno delle quali si ritrovano le segnalazioni di letteratura più frequenti, anche se tale 2° approccio necessariamente sovrastima il rischio e lo rende più aspecifico.

La tabella che segue riporta, per ognuno dei pericoli considerati, le tipologie di eventi avversi che la letteratura segnala e che sono stati considerati nel presente rapporto.

Tabella 14.Eventi avversi segnalati in letteratura

Sostanza	Effetti Cancerogeni	Effetti non cancerogeni	Effetti tossici
Arsenico	UR		RfC
Benzene	UR		RfC
Cadmio	UR		RfC
Cobalto	UR		RfC
Cromo esavalente	UR + genotossici		RfC
Mercurio			RfC
Nichel	UR + genotossici		RfC
Piombo	UR		RfC
Rame			RfC
Selenio			RfC
Zinco			RfC
Berillio	UR		RfC
Benzo[a]pirene	UR		RfC
PM ₁₀	---	Mortalità naturale, Mortalità sistema cardiocircolatorio, Mortalità apparato respiratorio, Ricoveri sistema cardiocircolatorio, Ricoveri apparato respiratorio	
PM _{2,5}	Tumore Polmone	Mortalità naturale, Ricoveri sistema	



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

		cardiocircolatorio, Ricoveri apparato respiratorio	
NO ₂	---	Mortalità naturale, Ricoveri apparato respiratorio	

***b. Valutazione della relazione dose-risposta (tra esposizione ed evento avverso)
così come emergente dalle informazioni di letteratura***

Come esplicitamente indicato nella successiva fase d) del processo di valutazione del rischio, la stima del rischio per i pericoli allo studio viene condotta attraverso l'utilizzo di specifiche formule in funzione del tipo di effetto preso in esame.

Preliminare all'applicazione di tali formule è l'identificazione della cosiddetta "relazione dose-risposta" (tra l'esposizione allo studio e l'evento avverso atteso), cioè la precisazione di quale sia la relazione quantitativa tra il valore dell'esposizione ed il valore dell'effetto atteso. Ci si chiede pertanto come varia l'indicatore di effetto atteso (ad esempio: una grandezza epidemiologica - un tasso di mortalità, un rischio relativo, ...) al variare del valore dell'esposizione. Per l'identificazione della relazione dose-risposta occorre rifarsi alle informazioni di letteratura.

La valutazione della relazione dose-risposta è argomento assai complesso perché implica l'affronto di problemi teorici di estrema rilevanza (modelli biologici in azione, esistenza o meno di valori soglia, forma matematica della relazione, ...), che non possono essere affrontati nella presente relazione. Ai fini del presente studio è sufficiente segnalare quanto segue.

Per gli effetti tossici e per quelli cancerogeni legati a specifiche sostanze sono disponibili in banche dati internazionali scientificamente riconosciute (esempio: EPA, Environmental Protection Agency - USA, sul sito <http://www.epa.gov/iris/>; Istituto Superiore di Sanità nella banca dati ISS-INAIL) dei coefficienti (esempio: valori di riferimento quali *Unit Risk* [UR], *Slope Factors* [SF], *Reference Concentration* [RfC], *Reference Dose* [RfD], *Tolerable Daily Intake* [TDI], etc.), che già



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

sintetizzano il contenuto della letteratura relativamente all'esistenza di una relazione dose-risposta tra ogni singola esposizione/pericolo e l'evento avverso (o gli eventi avversi) che caratterizza tale esposizione. Si tratta, in generale, di coefficienti condivisi dalla comunità scientifica, e ciò semplifica sia il lavoro di identificazione delle relazioni dose-risposta, sia le formule da utilizzare nella successiva fase di stima.

Nel caso specifico, sono stati identificati i coefficienti che seguono.

Tabella 15. Coefficienti

Sostanza	Effetti cancerogeni	Effetti tossici
	UR [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] ⁻¹	RfC [mg/m^3]
Arsenico	4,30E-03	1,50E-05
Benzene	7,80E-06	3,00E-02
Cadmio	1,80E-03	2,00E-05
Cobalto	9,00E-03	6,00E-06
Cromo VI (*)	8,40E-02	2,00E-04
Mercurio		3,00E-04
Nichel (*)	2,60E-04	9,00E-05
Piombo	1,25E-05	1,23E-02
Rame		1,40E-01
Selenio		2,00E-02
Zinco		1,05E+00
Berillio	2,40E-03	2,00E-05
Benzo[a]pirene	6,00E-04	2,00E-06

(*) *sostanza genotossica*

Per il particolato aerodisperso (PM₁₀, PM_{2,5}) e per gli ossidi di azoto (NO_x) coefficienti analoghi o non sono disponibili o non sono del tutto condivisi dalla comunità scientifica e pertanto occorre riferirsi, in generale, alla letteratura a disposizione. L'esame di tale letteratura, però, non produce necessariamente risultati che sono condivisi dall'intera comunità scientifica, e ciò introduce degli argomenti di arbitrarietà che possono risultare rilevanti. La soluzione largamente adottata, anche se ovviamente non scevra da criticità spesso significative, è quella di fare riferimento a valutazioni condotte da Organismi di riconosciuto valore (esempio tipico: OMS, Organizzazione Mondiale della Sanità), a testi normativi (leggi e decreti), a linee guida di società scientifiche o Enti di



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

riferimento (esempio: ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), oppure a documenti di consenso prodotti da diversi attori.

Per quanto riguarda gli ossidi di azoto ed il particolato aerodisperso per il presente studio si è fatto riferimento ai risultati del progetto HRAPIE della Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO Regional Office for Europe: *Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide*. WHO, 2013; WHO Regional Office for Europe: *WHO Expert Meeting: Methods and tools for assessing the health risks of air pollution at local, national and international level. Meeting report*. Bonn, Germany, 12-13 May 2014) recuperando i valori di rischio relativo (ed i relativi intervalli di confidenza al 95%) dalla banca dati del software AIRQ+ sviluppato dalla stessa OMS (Regional Office for Europe).

Nello specifico, i valori di Rischio Relativo (RR) e gli intervalli di confidenza al 95% (IC95%) presenti nei documenti citati sono riportati nella tabella che segue:

Tabella 16. RR per ossidi di azoto ed particolato aerodisperso

Inquinante	Effetto	Fonte	RR	IC 95%
NO ₂	Mortalità naturale	WHO	1.0027	1.0016-1.0038
	Ricoveri respiratori	WHO	1.019	1.0115-1.0245
PM ₁₀	Mortalità naturale	WHO	1.0074	1.0062-1.0086
	Mortalità respiratoria	WHO	1.012	1.008-1.037
	Mortalità cardiovascolare	WHO	1.008	1.005-1.018
	Ricoveri cardiovascolari	WHO	1.009	1.002-1.017
	Ricoveri respiratori	WHO	1.008	1.001-1.015
PM _{2.5}	Mortalità naturale	WHO	1.062	1.040-1.083
	Mortalità tumore bronchi-polmoni	WHO	1.09	1.04-1.14
	Ricoveri cardiovascolari	WHO	1.0091	1.0017-1.0166
	Ricoveri respiratori	WHO	1.019	0.9982-1.0402



c. *Valutazione delle esposizioni allo studio*

**COMPENDIO ANALISI DEI DATI DI MONITORAGGIO AMBIENTALE
DEL CANTIERE DE LA MADDALENA**

Anche per la fase di valutazione dell'esposizione si rimanda per i dettagli a quanto già indicato nelle relazioni periodiche prodotte.

Sulla scorta di tutte le informazioni acquisite alla data di stipula della Convenzione ed in accordo con il programma definito nei punti specifici dell'Allegato A della Convenzione stessa sono stati esaminati in dettaglio le principali componenti ambientali individuate e i relativi indicatori di qualità. Il piano di monitoraggio ambientale esterno all'area di cantiere, elaborato in funzione delle potenziali pressioni sull'ambiente prodotte dalla realizzazione del progetto nelle sue differenti fasi, ha preso in esame le seguenti componenti ambientali: atmosfera, amianto, ambiente idrico superficiale e sotterraneo, radiazioni ionizzanti, rumore e vibrazioni, suolo e sottosuolo, componenti biotiche. Per ciascuna di esse è stata individuata una serie di indicatori di qualità, oggetto delle attività di rilevamento ed analisi.

Per quanto riguarda i potenziali effetti sulla salute della popolazione sono state esaminate solo le componenti atmosfera, rumore e vibrazioni, amianto, radiazioni ionizzanti e risorse idriche.

I dati sono stati (e saranno) elaborati rispetto alle varie fasi di monitoraggio:

- *ante-operam* su rilievi condotti in modo sistematico dal gennaio al dicembre 2012. Sono peraltro disponibili alcuni dati relativi ad anni precedenti, raccolti in occasione delle attività inerenti il progetto del vecchio cunicolo Venaus previsto in Val Cenischia e i rilievi del particolato con la Stazione di riferimento ARPA di Susa-Repubblica;
- corso d'opera (gennaio 2013-oggi e, successivamente, fino al termine delle attività di cantiere)
- *post-operam*.

Il **monitoraggio esterno all'area di cantiere** è finalizzato all'accertamento delle condizioni ambientali prima dell'avvio dell'operazione di cantiere nelle aree territoriali potenzialmente coinvolte, al controllo degli effetti temporanei in relazione alle attività di cantiere, all'eventuale



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

rilevamento delle situazioni di anormalità con conseguente azione correttiva, e alla verifica dell' idoneità delle misure di mitigazione degli impatti previste.

In particolare nella fase di corso d' opera sono state individuate le condizioni di assetto operativo della rete di monitoraggio, in funzione degli impatti attesi previsti in fase di Studio di Impatto Ambientale e dei tavoli di concertazione con gli Enti di controllo e rimodulati in funzione degli impatti rilevati dalle attività di monitoraggio.

La condizione di esercizio attuata per il corretto controllo ambientale si articola in tre differenti stati di esercizio, riferito alle condizioni della rete di Monitoraggio:

- *Stato "standard" di SORVEGLIANZA*: rappresenta la condizione minima di esercizio per assicurare un adeguato controllo ambientale in condizioni di ambiente potenzialmente indisturbato e/o in presenza di interferenze "trascurabili";
- *Stato di ATTENZIONE*: assetto operativo condizionato da situazioni di anomalia ambientale registrate dalla rete di controllo ambientale e/o fattori emissivi interni del cantiere, previsti o emergenti;
- *Stato di INTERVENTO*: in caso di impatto accertato e consistente, riconducibile a livelli di deterioramento ambientale rispetto alla situazione registrata in *ante-operam* e conseguente attivazione degli interventi necessari mitigativi sulle cause che li hanno determinati.

COMPONENTE ATMOSFERA

Al fine di evitare deterioramenti significativi dei livelli di Qualità dell' Aria ai recettori sensibili in rapporto alla situazione preesistente nella fase di *ante-operam*, è stata monitorata la componente atmosfera; le attività di monitoraggio sono state condotte sia nei pressi di recettori sensibili posti nelle vicinanze del cantiere, sia nelle aree potenzialmente interessate dall' impatto delle emissioni su altri ricettori più remoti presenti sul territorio, secondo condizione di sorveglianza sulla base della valutazione degli impatti potenziali (SIA).



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

➤ **Situazione Meteorologica**

La rete di monitoraggio ambientale ha previsto la presenza una stazione fissa in continuo per la sorveglianza delle condizioni meteorologiche, la stazione di Gravere A5-Met2, con attivazione a giugno 2012.

Oltre 40.000 sono stati i rilevamenti dei principali indicatori climatici dal 2013 fino a dicembre 2017: Temperatura, Umidità Relativa, Velocità e direzione del vento, Radiazione solare, Precipitazioni, Pressione Atmosferica. La situazione meteorologica rilevata è risultata sostanzialmente sovrapponibile alla situazione registrata mediante le misurazioni *ante-operam* di giugno-dicembre 2012 (in particolar modo per i semestri giugno-dicembre, in quanto i valori *ante-operam* si riferiscono a tale periodo). Sono risultati quindi sostanzialmente simili nei periodi confrontati le temperature medie stagionali e i livelli medi di ventilazione di tutta la fase di corso d'opera fino al dicembre 2017, dato importante dal momento che questi sono i fattori maggiormente condizionanti la dispersione atmosferica dei potenziali inquinanti.

➤ **Particolato acrodisperso**

Il PMA per quanto riguarda il Particolato, in assetto operativo di sorveglianza, ha previsto il monitoraggio del PM₁₀ in continuo con restituzione oraria presso una singola stazione (A5.4 Chiomonte), il monitoraggio del PM₁₀ in continuo su 5 stazioni distribuite sul territorio, con modalità sequenziale di tipo gravimetrico sulle 24h.

Le stazioni di monitoraggio:

CHIOMONTE-GRAVERE, SUSÀ, GIAGLIONE, in particolare:

- 1) A5 – Comuni di CHIOMONTE-GRAVERE:
staz A5.20b Gravere – Centro sportivo S. Barbara
staz A5.4 Chiomonte – Frazione La Maddalena
staz A5.1b Chiomonte – Scuola Elementare
- 2) A3 – Comune di SUSÀ:
staz A3.1b Susa – Savoia, Scuola Media
- 3) A6 – Comune di GIAGLIONE:
staz A6.6 S. Rocco.

67



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

PM_{2,5}

Modalità e risultati

Il PM_{2,5} è stato monitorato in fase di *ante-operam*, e poi a valle della condivisione tecnica con gli enti di controllo, per quanto riguarda la fase di corso d'opera, solo nel periodo compreso tra gennaio e giugno 2013; dal 10/07/2013 in poi il controllo è stato focalizzato sul PM₁₀, in quanto non sono mai state evidenziate situazioni di criticità ambientale. I valori medi di PM_{2,5} sono infatti risultati sovrapponibili a quelli del periodo *ante-operam*, e come tali sostanzialmente attribuibili alle emissioni da traffico veicolare esterno, indipendente dalla attività di cantiere.

PM₁₀

Modalità e risultati

E' stato monitorato fin dalla fase *ante-operam*, a partire dal 6/03/2012, con un totale di oltre 9.300 misure disponibili fino al dicembre 2017, con passaggio su specifica richiesta dell'Ente di Controllo, a partire dal 10 luglio 2013, da un monitoraggio su tre giorni consecutivi, con cadenza quindicinale, ad una modalità di rilevamento continuo sequenziale sulle 24 h, su tutte le stazioni di monitoraggio.

E' stato inoltre attivato presso la stazione A5.4 di Chiomonte, compresa nell'area di presidio che include l'area di cantiere (sito particolare, indicativo della sola situazione locale e non rappresentativo dell'esposizione della popolazione, per cui non sarebbe applicabile il limite normativo previsto dal D.Lgs 155/10 - 50 µg/m³ in 24h max 35 superamenti su anno civile / media giornaliera 40 µg /m³, anno civile), un controllo continuo strumentale mediante l'impiego di un sistema automatico contaparticelle GRIMM che consente la restituzione oraria dei valori di PM₁₀, per la necessità di acquisire gli andamenti tendenziali delle concentrazioni di PM₁₀ in un'area particolare, quale quella di cantiere, in cui le concentrazioni di particolato potrebbero essere maggiori a seguito della risospensione di materiale particellare prodotto dall'attività di cantiere stessa e in base ai quali predisporre gli interventi atti a prevenire o limitare la risospensione e la dispersione in atmosfera di polveri prodotte da operazioni di scavo e movimenti terra, nonché dal transito frequente di macchine operatrici e/o mezzi di trasporto su percorsi sterrati, consentendo una gestione ottimale delle attività potenzialmente impattanti. Ad oggi questo sistema automatico ha fornito oltre 40 mila misure.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Solo nella stazione di rilevamento A5.4-Frazione La Maddalena sono stati registrati, nel corso del 2013, 50 superamenti del valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, rispetto ai 35 consentiti dalla norma per gli ambienti di vita, mentre negli altri punti di campionamento non è stato raggiunto il numero complessivo di "sforamenti" annuali previsto dalla normativa e nel complesso le concentrazioni medie annuali della fase di cantiere sono state sostanzialmente sovrapponibili alle concentrazioni medie rilevate nella fase *ante-operam* sulle medesime stazioni di monitoraggio. I superamenti rilevati, a carattere episodico, negli anni di corso d'opera, sono stati generalmente riconducibili a situazioni regionali o a fattori locali indipendenti dall'esecuzione dell'opera.

➤ **Polveri Totali Sospese e Depositioni**

Modalità e risultati

Vista la tipologia delle attività svolte è stata considerata di particolare importanza l'integrazione del sistema di sorveglianza con monitoraggi mirati specificatamente alla componente Polveri Totali Sospese, mediante utilizzo di strumentazione sequenziale, sulle quali eseguire anche la valutazione quali-quantitativa del contenuto di metalli, quali indicatori delle emissioni provenienti dalle lavorazioni del cantiere. E' stato inoltre previsto contestualmente il campionamento dei seguenti metalli: Al, As, Be, Cd, Co, Cr tot, Fe, Hg, Ni, Pb, Cu, Se, Mn, V, Ti, Zn.

Tali misure sono state sospese su disposizione ARPA a partire dal 17/07/2014.

E' stata inoltre integrato con il rilievo del "Rateo di Depositione", che, in condizioni di sorveglianza è stato effettuato, come previsto dal PMA, limitatamente alla stazione A5.4 mediante deposimetri "Bulk" per periodi di esposizione discreti della durata di 30 giorni, in regime trimestrale. Sono stati previsti rilievi bimestrali in condizione di attenzione sempre presso la stazione A5.4, e misurazioni in continuo su tutte le stazioni in caso di condizione di intervento. Sono stati determinati i Ratei di Depositione per le Polveri Sedimentabili (PM) e dei metalli tossici quali Arsenico, Cadmio, e Nichel oltre al Benzo(a)Pirene (Idrocarburi Policiclici Aromatici).

Per le deposizioni dei suddetti inquinanti non si è ancora consolidata una normativa di Legge specifica, esistono tuttavia valori di riferimento della Commissione Europea e normative nazionali di alcuni Paesi della Comunità Europea. In Italia, nel 1983 il Ministero della Sanità istituì una Commissione di studio per raccomandare dei limiti per le polveri sedimentabili.

In base alle classi di polverosità nella fase di corso d'opera nel 2013 si è osservato per l'area de La Maddalena (A5.4) un aumento della polverosità rispetto all'*ante-operam* (da classe II-Polverosità

59



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

bassa a classe III-Polverosità media), fenomeno che non si è più verificato nel tempo, con valori che nel 2015 e nel 2016 sono rientrati in un regime di classe II equiparabile all'*ante-operam*, mentre nel 2014 si sono evidenziati valori addirittura inferiori, rientranti in classe I; nel 2017 si è confermato un livello di polverosità bassa (classe II).

Su un totale di 27 misure complessive valutabili per ciascun metallo, non sono state rilevate anomalie per i loro valori di deposizione sia per il 2017, sia per gli anni precedenti (2016, 2015, 2014 e 2013); si sono verificati alcuni superamenti saltuari dei valori limite proposti da alcuni paesi della Comunità Europea per quanto riguarda il Nichel, ma i valori osservati non hanno presentato variazioni significative rispetto ai valori osservati in fase *ante-operam*, non configurando una situazione di anomalia.

Anche i Ratei di deposizione del benzo(a)pirene rientrano mediamente entro i valori guida indicati dall'Istituto Superiore di Sanità (range 1,9-5,7 ng/m³d), anche se sono stati registrati alcuni aumenti nel corso degli anni.

➤ **Qualità dell'aria**

Modalità e risultati

Il controllo della qualità dell'aria, in assetto operativo di sorveglianza, è stato effettuato mediante rilievi su alcune stazioni distribuite sul territorio, con campagne annuali di 20 giorni nei periodi primaverile/estivo e autunnale/invernale (2 per ciascuna stazione).

Le stazioni di monitoraggio:

- 1) A5 – Comuni di CHIOMONTE-GRAVERE:
staz A5.20b Graverè – Centro sportivo S. Barbara
staz A5.4 Chiomonte – Frazione La Maddalena
staz A5.1b Chiomonte – Scuola Elementare
- 2) A3 – Comune di SUSA:
staz A3.1b Susa – Savoia, Scuola Media (solo 2013 per benzene, solo 2013 e -2014 per gli altri inquinanti secondo quanto previsto dal PMA).

Per tutti gli altri inquinanti monitorati in continuo a mezzo di Laboratorio Mobile, la condizione di attenzione è stata prevista a seguito del superamento delle relative soglie ambientali riferite ai valori medi giornalieri registrati nell'arco temporale di almeno 7 gg di uno o più indicatori. Le azioni



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

conseguenti previste sono state la prosecuzione dei rilievi senza soluzione di continuità fino al riscontro di normali livelli ambientali ristabilizzati nell'arco temporale di almeno ulteriori 7 gg consecutivi, il preavviso all'RSGA (Responsabile del Sistema di Gestione Ambientale del cantiere) per l'individuazione e la predisposizione di eventuali opportuni interventi.

Tramite campagne di campionamento con Laboratorio Mobile, dotato di strumentazione di misura in continuo, è stato condotto il monitoraggio dei seguenti inquinanti atmosferici: Monossido di Carbonio (CO) (valori medi orari), Biossido di Zolfo (SO₂) (valori medi orari), Ossidi di Azoto (NO_x e NO₂) (valori medi orari), Benzene (valori medi sulle 24 h), Ozono (valori medi orari).

Dalla fase *ante-operam* alla fine del 2017 sono state effettuate oltre 22 mila misurazioni di questi agenti. In tutte le campagne non si sono registrati, per queste sostanze, significativi scostamenti delle concentrazioni ambientali rispetto alla situazione analizzata e verificata nella fase *ante-operam*. Sulla base di questi risultati, per disposizione di ARPA Piemonte, a partire dal luglio 2014 il monitoraggio è stato limitato a Ossidi di Azoto e Benzene.

Per quanto riguarda il Benzene in tutti gli anni di corso d'opera non si sono verificate anomalie e il valore medio annuale si attesta al di sotto del valore soglia fissato per il Benzene a 5 µg/m³ (media di 24 ore).

Le misure di NO₂ sono risultate inferiori alla soglia massima oraria di 200 µg/m³, e il valore medio annuale rilevato in corso d'opera nelle differenti stazioni di monitoraggio si è sempre attestato al di sotto del valore soglia fissato dalla normativa a 40µg/m³ per protezione della salute umana. Riguardo agli NO_x si sono evidenziati alcuni picchi nel 2013, nel 2014 (in corso d'opera) presso la stazione Chiomonte-Frazione La Maddalena, ripetutisi anche nel 2015 (valore max 1h 354,3 µg/m³ il 04 novembre 2015), ma non sono stati considerati come valori anomali correlati all'attività di cantiere in quanto analoghi a valori determinati nella fase *ante-operam* (valore max 1 h 799,9 µg/m³). Anche nel 2017 i valori osservati non evidenziano anomalie rispetto alla situazione precedente. Nel 2013 si è verificato un superamento del valore limite annuale (valore normativo riferito alla protezione della vegetazione) per la stazione A5.4 Chiomonte-Frazione La Maddalena,



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

situazione evidenziata anche nel 2015 e nel 2016, ma sovrapponibile al valore registrato in *ante-operam*, non andando quindi a configurare una situazione di anomalia.

I valori riguardanti l'Ozono sono stati confrontati con i diversi valori soglia di riferimento (Informazione $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per 1 h; Allarme $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per 1 h; valore bersaglio soglia di protezione umana $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ media su 8h massima giornaliera di un anno civile). Sono stati registrati solo pochi superamenti della soglia di Informazione (2 nel corso del 2013, 8 nel 2014 presso la stazione A3.1b e un superamento nell'anno 2013 nella stazione A5.1b). Valori superiori a questo limite di soglia di Informazione si sono verificati anche durante la fase *ante-operam* nel 2012, in misura anche maggiore, sia nelle stesse stazioni elencate sia negli altri punti di monitoraggio. Per questo motivo questi dati non sono stati considerati come anomali e correlabili all'attività di cantiere. E' importante sottolineare come non siano stati, comunque, mai osservati, durante l'intero periodo di monitoraggio, superamenti della soglia di Allarme prevista ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Sul totale dei campioni di PM_{10} rilevati in parallelo su tutta la durata delle singole campagne di monitoraggio, in aggiunta ai suddetti inquinanti sono state inoltre effettuate misure discrete su altri potenziali inquinanti, in particolare analisi sulla presenza di: Idrocarburi Policiclici Aromatici (Benzo(a)Pirene) e Metalli. Le analisi disponibili che riportano i valori medi di Benzo(a)Pirene e Metalli sull'intero periodo delle singole campagne di monitoraggio riguardano 9 misure per la fase *ante-operam*, 7 per il 2013, 6 per il 2014, 6 per il 2015, 6 per il 2016 e 6 per il 2017; durante questi anni di corso d'opera non sono stati evidenziati scostamenti rispetto alla fase *ante-operam* per quanto riguarda Arsenico ($6 \text{ng}/\text{m}^3$), Nichel ($20 \text{ng}/\text{m}^3$) e Piombo ($0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$); i valori rilevati risultano entro i valori obiettivo o valori limite fissati dalla normativa per l'aria ambiente, con l'eccezione di due scostamenti per il Benzo(a)Pirene ($1 \text{ng}/\text{m}^3$ Benzo[a]pirene - obiettivo di qualità (anno civile), $6 \text{ng}/\text{m}^3$ Arsenico - valore obiettivo (anno civile), $20 \text{ng}/\text{m}^3$ Nichel - valore obiettivo (anno civile), e $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Piombo - valore limite (anno civile).



COMPONENTE AMIANTO

➤ Amianto aerodisperso

E' stato previsto il monitoraggio costante dei livelli ambientali di fibre d'amianto aerodisperse nell'area di cantiere e nelle medesime aree di potenziale impatto definite da SIA in ogni fase esecutiva dell'opera al fine di segnalare prontamente ogni variazione significativa rispetto ai valori di fondo registrati in *ante-operam*, correlata all'attività di cantiere e di trasporto e deposito dei materiali estratti nella località della discarica finale.

Modalità e risultati

La rete di monitoraggio per l'amianto aerodisperso ha effettuato un totale di oltre 2.700 rilievi fino a dicembre 2017 su 6 stazioni distribuite sul territorio di CHIOMONTE, GRAVERE e GIAGLIONE, in particolare:

- 1) A5 – Comune di CHIOMONTE
staz A5.4 Frazione La Maddalena
staz A5.1b Scuola Elementare
staz A5.C Perimetro Cantiere (attivata nella fase realizzativa dell'opera)
staz A5.12 Abitato Ramats-Frazione S. Antonio
- 2) A3 – Comune di GRAVERE
staz A5.Met2-Molaretto
- 3) A6 – Comune di GIAGLIONE
staz A6.6 S. Rocco.

In corso d'opera in fase di sorveglianza, secondo quanto previsto dal PMA, l'assetto operativo ha previsto rilievi contemporanei presso le due stazioni ubicate attorno al perimetro esterno del cantiere (le stazioni Frazione La Maddalena A5.4 e Perimetro Cantiere A5.C).

In relazione ai livelli di attività del cantiere sono state previste le seguenti modalità operative:

- Fase 1: campionamenti su 3 giorni consecutivi con frequenza quindicinale e con estensione giornaliera limitata al turno di lavoro (8 ore);



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

- Fase 2: campionamenti su 3 giorni consecutivi con frequenza settimanale, con estensione giornaliera di 24 ore sul primo giorno della sequenza e di 8 ore, riferite al turno di lavoro, nei giorni successivi.

In caso di passaggio alla condizione di attenzione (per prospezioni sul fronte di scavo con riscontro di determinati livelli di rischio o variazione del carico emissivo del cantiere segnalati dal RSGA), il sistema di monitoraggio ha previsto l'attivazione di ulteriori stazioni (A5.1b e A5.12), ubicate presso i recettori più prossimi all'area di cantiere con copertura temporale giornaliera per tutto il turno di lavoro, e nella prima fase di realizzazione con passaggio dalla cadenza quindicinale a settimanale oltre alla segnalazione alle figure preposte e al RSGA.

Infine in caso di stato di intervento, per incremento significativo dei valori ambientali giornalieri con raggiungimento/superamento della soglia di 1 ff/L, dopo segnalazione alle figure preposte e al RSGA e attivazione degli immediati interventi di mitigazione previsti, il PMA ha previsto la prosecuzione dei rilievi senza soluzione di continuità con copertura temporale giornaliera di 24 h su tutte le stazioni di monitoraggio previste.

Nell'ambito della condizione di intervento l'ulteriore conferma della tendenza all'incremento delle concentrazioni di fibre di amianto aerodisperso, anche a seguito di una singola misura, determina la situazione di allarme, con segnalazione alle figure preposte e al RSGA e all'Organo di Vigilanza.

Il ritorno alle normali condizioni di sorveglianza è condizionata alla verifica degli effetti ambientali prodotti dalle misure adottate dalla Direzione Lavori (DL).

La lettura dei campioni è stata effettuata con Microscopia Elettronica a Scansione (SEM) corredata da microanalisi EDAX (SEM+EDAX). Il volume d'aria campionato è di circa 4.700 l, il filtro utilizzato ha un diametro di 47 mm con una superficie pari a 961,6 mm², e la superficie esplorata dal filtro è di 1,27 mm² (secondo D.M. 6/9/94). Con questi parametri si ottiene dunque un limite di rilevabilità pari a <0,16 ff/l.

Dall'inizio del monitoraggio nel corso dell'anno 2010, fase *ante-operam*, ad oggi, su un totale di oltre 2.700 rilievi si segnala un solo superamento del valore limite consigliato per la qualità dell'aria nelle città europee per tutela della popolazione (WHO 2006 Air quality guidelines), in data 23/01/2014, (1,27 ff/l Crisotilo), presso la stazione A5.C, comunque contenuto entro le 2 ff/L che è il valore limite per la restituibilità dei siti contaminati. Nonostante l'irrelevanza del singolo dato



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

sotto il profilo sanitario si è ritenuto comunque utile verificare l'eventuale presenza di amianto nell'area interna di attività, nei giorni immediatamente precedenti il riscontro. Dall'analisi dei report di monitoraggio interno al cantiere, che riguardano il cunicolo, l'amianto aerodisperso sul piazzale antistante l'imbocco del cunicolo, l'analisi dei cumuli, l'analisi sul sondaggio in avanzamento, nonché campionamenti personali sui lavoratori all'esterno e all'interno della galleria, non sono stati evidenziati ritrovamenti di amianto, così da far considerare il riscontro positivo del 23/01/2014 come contenuto all'interno della naturale variabilità del parametro misurato. Questo superamento non è stato ulteriormente riscontrato nei rilievi di tutti gli anni successivi presso la stessa o altre stazioni di monitoraggio.

Ogni anno sono stati riscontrati una media di campioni positivi compresi entro il 7,9% del 2012, e il 0,75% del 2017, evidenziando occasionalmente fibre di Crisotilo e Tremolite in concentrazioni massime ampiamente inferiori alla soglia ambientale di 1 ff/l. I rilievi esaminati hanno evidenziato nella grande maggioranza dei casi solo materiali fibrosi non riferibili all'amianto (silicati fibrosi) e di natura organica.

➤ **Amianto nelle acque superficiali**

Modalità e risultati

Sono stati previsti controlli nei corpi ricettori superficiali in corrispondenza delle seguenti sezioni:

ASP-031, T. Dora Riparia, monte confluenza Clarea

ASP-032, T. Dora Riparia, valle confluenza Clarea.

Il PMA ha previsto rilievi bimestrali in assetto di sorveglianza in fase di corso d'opera, mensili in condizione di attenzione sempre su queste due stazioni e quindicinali su tutte le stazioni in caso di stato di intervento. L'assetto operativo è stato predisposto in considerazione di situazioni di basso o elevato rischio di presenza d'amianto in base alle prospezioni sul fronte di scavo e/o all'osservazione dell'incremento delle concentrazioni con raggiungimento o superamento delle soglie all'interno del cantiere.

E' stato previsto il campionamento su tutta la sezione del corpo idrico con prelievo di aliquote da 0,5 L distanziate di m. 1 e successivamente riunite.

Sul totale dei 56 rilievi eseguiti a partire dalla fase di *ante-operam* ad oggi, non si sono mai verificati riscontri di fibre d'amianto in acque superficiali.



COMPONENTE RUMORE E VIBRAZIONI

L'attività ha riguardato la caratterizzazione del clima acustico ed il monitoraggio dell'inquinamento da rumore prodotto dal cantiere, dalla movimentazione del materiale di scavo, dai trasporti.

➤ Rumore cantiere

Modalità e risultati

Per quanto riguarda il monitoraggio della componente rumore è stato attivato durante il corso d'opera un assetto di sorveglianza che ha contemplato misure periodiche dell'indicatore Rumore Cantiere sui periodi diurni e notturni con cadenza mensile o bimestrale in rapporto alla distanza del punto di emissione sonora dalle 5 stazioni previste e distribuite sul territorio. Per ogni stazione sono stati considerati i valori limite di zona fissati dalle autorità locali in base alle disposizioni del D.P.C.M. 14/11/1997, differenziati in base alla zona di appartenenza.

Altri assetti operativi previsti sono la condizione di attenzione, dietro comunicazione del RSGA, in caso di persistenza del superamento delle soglie presso la centralina fonometrica posta all'interno dell'area di cantiere, nonostante le azioni correttive previste, o di default nella fase di lavorazione 6 (smontaggio TBM, smobilitazione cantiere e ripristini ambientali); tale condizione prevede rilievi settimanali (mensili solo su A5.Met2 o A6.6). Infine la condizione di intervento è prevista determinarsi a seguito del riscontro di un superamento del valore limite di immissione DPCM 14/11/97 riscontrato presso i punti recettori esterni al cantiere e/o per segnalazioni di disturbo, con azioni conseguenti quali tempestivi rilievi, verifica del rispetto del valore limite differenziale all'interno delle abitazioni, segnalazione ai soggetti preposti RSGA e DL per attivazione di interventi di mitigazione ulteriori previsti dal PGA; tale assetto prevede rilievi settimanali su tutte le stazioni.

Il ritorno alla condizione di sorveglianza si determina al ristabilirsi del rispetto dei valori limite di immissione presso i punti recettori esterni.

La modalità di rilievo ha previsto una registrazione continua per 48 h.

CHIOMONTE, GRAVERE, GIAGLIONE

1) A5 – Comune di CHIOMONTE:



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

staz A5.4 - RC Frazione La Maddalena (attivazione a valle restituzione aree museale)
staz A5.21 - Regione Balme, Azienda Agricola.

valori limite: Diurno 55 dB(A) / Notturmo 45dB(A);

staz A5.1b - Scuola Elementare

valori limite: Diurno 50 dB(A) / Notturmo 40 dB(A)

2) A3 – Comune di GRAVERE:

staz A 5.Met2 - Molaretto

valori limite: Diurno 60 dB(A) / Notturmo 50 dB(A)

3) A6 - Comune di GIAGLIONE:

staz A5.23 - Borgata Clarea

valori limite: Diurno 55 dB(A) / Notturmo 45 dB(A)

staz A6.6 - S. Rocco valori limite: Diurno 60 db(A) / Notturmo 50 dB(A).

Si ricorda inoltre la stazione A5.2 - San Martino Agriturismo solo per i rilievi in fase di *ante-operam*.

La stazione A5.4 – RC Frazione La Maddalena (attivazione a valle restituzione aree museale), è stata attivata nel corso del 2016.

Per quanto riguarda l'indicatore rumore cantiere sono risultati valutabili fino a dicembre 2017 oltre 450 misure. Si sono osservati alcuni superamenti sia nel periodo diurno sia in quello notturno rispetto ai limiti di zona fissati dalle autorità locali in base alle disposizioni del DPCM 14/11/1997, in maggior numero rispetto alle misure rilevate nella fase *ante-operam* che sono risultati sostanzialmente invariati durante tutta la fase di corso d'opera, anche dopo la fine dello scavo. Tali superamenti risultano attribuibili sostanzialmente ad immissioni acustiche da fonti antropiche e ambientali della zona. Dalle indagini condotte nella fase di corso d'opera è risultato inoltre che una quota dei livelli acustici registrati in uno dei punti recettori del monitoraggio (A5.23- Borgata Clarea) fosse da attribuire anche alle lavorazioni del cantiere, in particolare per l'utilizzo del nastro trasportatore per la movimentazione dello smarino dal fronte di scavo alle piazzole di deposito temporaneo, per cui sono state attuate tutte le possibili insonorizzazioni dell'impianto. Non essendo possibili ulteriori interventi di mitigazione della componente dovuta all'attività di cantiere, nel giugno 2016 è stata approvata una deroga con pratica SUAP n. 1030/2016 Provvedimento Autorizzativo unico n. 232 del 06/06/2017 per la staz. A5.23.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Rispetto ai livelli *ante-operam* sono risultati sostanzialmente invariati i livelli equivalenti medi sia diurni che notturni calcolati durante la fase di corso d'opera.

➤ **Rumore Traffico**

Modalità e risultati

E' stato inoltre monitorato l'indicatore Rumore Traffico. In condizioni di sorveglianza, durante la fase di corso d'opera, è prevista la ripetizione dei rilievi con cadenza bimestrale (valori di riferimento previsti dalla vigente normativa -DPR n.142 del 30/03/2004) a Diurno 70 dB/Notturmo 60 dB) presso un unico punto recettore nel Comune di SUSA:

staz A 3.1b Susa – Savoia, Scuola Media.

E' stata prevista inoltre una condizione di attenzione/intervento in concomitanza di eventuali movimentazioni di materiali di particolare intensità o per il riscontro di superamento dei valori limite di immissione dell'infrastruttura stradale, con le conseguenti azioni di intensificazione della frequenza dei rilievi (mensile), e segnalazione a DL per la verifica ed ottimizzazione dei flussi di approvvigionamento per limitare l'impatto acustico diretto o indotto.

La riduzione alla originaria condizione di sorveglianza si determina al ristabilirsi del rispetto dei valori limite di immissione presso i punti recettori esterni.

Non si sono evidenziati scostamenti, durante tutte le fasi di cantiere, rispetto ai valori registrati nella fase *ante-operam*.

Dall'analisi dei dati di monitoraggio non si sono riscontrate anomalie in tutti gli anni della fase di corso d'opera rispetto ai valori registrati nella fase *ante-operam*, che si sono generalmente attestati al di sotto dei limiti fissati dalla vigente normativa (DPR n.142 del 30/03/2004) tranne due sole misurazioni del marzo 2015 e del settembre 2015, dove è stato riscontrato un lieve superamento di soglia, con 60,5 dB raggiunti, rispetto ai 60 previsti.

Data l'estensione spazio-temporale limitata dei superamenti, a carattere episodico, oltreché l'entità molto ridotta dei superamenti rilevati non si possono ipotizzare rischi di impatto sullo stato di salute della popolazione.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

➤ **Vibrazioni**

Modalità e risultati

Lo scopo dell'attività di monitoraggio delle vibrazioni è l'individuazione di fenomeni vibrazionali, a carico di edifici e di strutture, prodotti dal cantiere, dalla movimentazione del materiale di scavo e dal traffico indotto dall'attività del cantiere.

La rete di monitoraggio ha previsto una registrazione in continuo su finestre temporali diurne e notturne mediante strumentazione accelerometrica sviluppata sui tre assi longitudinale, trasversale e verticale presso alcune stazioni distribuite sul territorio, nei medesimi punti strutturali già sottoposti al controllo nella precedente fase di *ante-operam*. In ciascuno dei punti di misura sono stati ricavati, relativamente alle tre componenti spaziali (assi *x*, *y* e *z*) e nel range di frequenza 1-80 Hz, i seguenti parametri:

- ampiezza di picco della velocità di vibrazione (mm/s) e la relativa frequenza;
- ampiezza della accelerazione equivalente (mm/s^2) ponderata in frequenza secondo la norma UNI 9614.
- valore massimo MTVV della accelerazione equivalente (mm/s^2) ponderata in frequenza, secondo la norma ex UNI 11048.

La cadenza prevista dei rilievi è stata mensile nelle prime fasi di scavo in tradizionale (assetto operativo di attenzione, in scavo DBM fino alla pK 198) e successivamente con cadenza trimestrale (assetto operativo di sorveglianza). E' stata inoltre prevista la condizione di intervento, in caso di registrazione di fenomeni vibratorii di particolare intensità, le cui modalità di monitoraggio sono previste come da definire in base alla localizzazione della sorgente e dei recettori interessati, nonché indicazioni della DL e RSGA.

Stazioni di monitoraggio:

CHIOMONTE, GIAGLIONE

- 1) A5 – Comune di CHIOMONTE:
 - staz A5.4 – Frazione La Maddalena
 - staz A5.2 – Museo Archeologico in Frazione La Maddalena
 - staz. A5.11 - Viadotto A32 (rilievi sospesi dal luglio 2013)
- 2) A6 – Comune di GIAGLIONE:
 - staz A5.23 Borgata Clarea.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

I valori limite normativi fissati risultano essere $7,2 \text{ mm/s}^2$, come limite abitazioni nella finestra diurna e $5,0 \text{ mm/s}^2$ come limite per le abitazioni nella finestra notturna.

Le attività di monitoraggio previste hanno compreso sia la valutazione del disturbo alla popolazione sia l'interferenza con attività produttive ad alta sensibilità, sia gli effetti su edifici e beni monumentali di particolare rilevanza.

Relativamente alla valutazione del disturbo per le persone residenti negli edifici si è fatto riferimento ai valori limite di accelerazione equivalente ponderata in frequenza previsti dalla norma UNI 9614, a sua volta ripresi dalla norma ISO 2631/2; mentre relativamente alla valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici si è fatto riferimento ai valori limite di velocità di picco previsti nell'Appendice B.2.1 della norma UNI 9916, a sua volta ripresi dalla norma DIN 4150 Parte 3.

Rispetto alle misurazioni effettuate nel corso dell'anno 2012, durante la fase *ante-operam*, in cui non si erano evidenziati superamenti dei limiti di normativa ambientali sia per la finestra diurna sia per quella notturna, nel corso del 2013, precisamente durante il mese di luglio nelle stazioni Frazione La Maddalena e Museo Archeologico si è osservato un lieve superamento della soglia riferita al periodo diurno per le abitazioni ($7,65$ e $7,60 \text{ mm/s}^2$ per la sola componente verticale).

Il dato è stato riferito alla contemporanea attività di scavo del cunicolo con martellone e lavorazioni di consolidamento del terreno sull'area del sito di deponia mediante sistemi di iniezione ad alta pressione in situ di miscele leganti seguite nella fase di avvio delle operazioni di scavo.

Non sono stati eseguiti rilievi di tipo differenziale, e non è stato possibile stabilire con certezza se le vibrazioni registrate fossero da attribuire a tali lavorazioni piuttosto che al transito di mezzi d'opera pesanti. Non si sono rilevati invece superamenti sia delle soglie limite stabilite dalla normativa UNI 9614 per le abitazioni, sia dei valori limite disposti dalla normativa UNI9916 per edifici residenziali e costruzioni simili, né durante il corso dell'anno 2014, e neanche per quanto riguarda le 25 misurazioni diurne e notturne disponibili per l'anno 2015, e le 18 misurazioni disponibili per il 2016 e 24 per il 2017.

Non si sono dunque configurate variazioni ambientali di fondo rispetto al periodo di *ante-operam*, o anomalie rispetto ai valori normativi da far ipotizzare impatti sanitari connessi all'attività di cantiere.



COMPONENTE RADIAZIONI IONIZZANTI

Modalità e risultati

Per verificare e monitorare costantemente le eventuali dispersioni di radioattività naturale legate alle attività di scavo del cunicolo è stato posto in essere un sistema di monitoraggio che ha previsto rilievi durante la fase di corso d'opera sia sulla matrice atmosfera sia sulle risorse idriche di alcuni indicatori quali:

- emissioni di particelle α e β totali sul Particolato Totale Aerodisperso ed attività γ del ^{137}Cs e degli altri isotopi ^{214}Pb e ^{212}Pb monitorati presso le stazioni: Comune di CHIOMONTE A5.4 - Frazione La Maddalena stazione e A7.1 Forte di Exilles, in assetto di sorveglianza e anche presso la stazione, A5.1b Scuole elementari in assetto di attenzione e su tutte le stazioni per la condizione di intervento;
- emissioni di particelle α e β sulle risorse idriche (stazioni di monitoraggio indicate al fondo del paragrafo);
- gas Radon monitorato in continuo presso la stazione: comune di CHIOMONTE A5.4 - Frazione La Maddalena, e in tutte le stazioni in caso di condizione di intervento.

➤ **Radioattività Naturale sulla matrice atmosfera**

Per quanto riguarda la matrice atmosfera è stato previsto un monitoraggio in assetto di sorveglianza, con rilievi durante le attività di scavo con cadenza settimanale (giornalieri in caso di situazione di intervento) del prelievo del campione PTS in ciascuna stazione di monitoraggio (la misura α e β totali è stata effettuata su ogni singolo campione; la spettrometria γ è stata effettuata sul pacco mensile di campioni per ciascuna stazione di monitoraggio (settimanale in caso di intervento), e con interruzione durante i periodi di non attività di scavo, in quanto periodi senza mobilitazione di materiali eventualmente contenenti radionuclidi.

Il livello di attenzione indicato nel PMA per la misura β totale (pari a 5 mBq/m^3) è riferibile al "Livello notificabile" indicato nell'All.III della raccomandazione 473/2000/EURATOM. Per la misura α totale la soglia di riferimento è stata fissata a 1/10 di quella indicata per la misura β totale (α totale: $0,5 \text{ mBq/m}^3$). La condizione di attenzione è stata inoltre prevista in ogni caso a seguito di rinvenimento di materiale roccioso radioattivo segnalato dai sensori al fronte di scavo.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Nell'anno 2016 questi valori sono stati ridefiniti così come concordato con ARPA (vedi verbale di riunione Arpa del 19/07/2016): soglia di attenzione $0,3 \text{ mBq/m}^3$ per le misure di α totale e 4 mBq/m^3 per le misure di β totale e soglia di intervento pari a $0,5 \text{ mBq/m}^3$ per le misure di α totale e 5 mBq/m^3 per le misure di β totale.

Per la spettrometria γ il livello di attenzione indicato nel PMA (per il radionuclide ^{137}Cs) è pari a quello indicato nell'All.III della citata raccomandazione 473/2000/EURATOM "Livello notificabile" ($3 \times 10^{-2} \text{ Bq/m}^3$), $4 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ per serie del ^{238}U (^{214}Pb); non è prevista inoltre una soglia di attenzione per i radionuclidi della serie del ^{232}Th (^{212}Pb) e per il ^{40}K .

Le soglie di intervento sono invece fissate a $5 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ per ^{214}Pb (serie del ^{238}U) e per ^{212}Pb (serie del ^{232}Th), e a $7 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ per ^{40}K .

Al riscontro di valori ambientali che determinano gli stati di attenzione e di intervento vi è la segnalazione a RSGA e DL per la predisposizione e l'attivazione delle necessarie misure di prevenzione previste dal PGA.

Sul totale delle oltre 700 misure valutabili fino a dicembre 2017 per le particelle α e oltre 700 per le particelle β , un solo superamento della soglia di attenzione fissata dal PMA, a cavallo del livello notificabile (secondo raccomandazione EURATOM 473/2000) dell'emissione di particelle α è stato rilevato durante l'attività di scavo (in particolare nel periodo marzo-dicembre 2013) presso la stazione Frazione La Maddalena a ridosso del cantiere (valore riscontrato $0,553 \pm 0,113 \text{ mBq/m}^3$ rispetto al limite di $0,5 \text{ mBq/m}^3$); analogo superamento era stato segnalato anche durante la fase di non scavo *ante-operam*, non configurando dunque una situazione di anomalia ambientale. Nel 2014, 2015, 2016 e 2017 non si sono riscontrati ulteriori superamenti dei livelli di attenzione o di intervento stabiliti dal piano di monitoraggio per emissione di particelle α e β ; si segnalano 2 valori a cavallo del nuovo livello di attenzione per quanto riguarda le particelle α ridefinito nel 2016, senza che mai ci fosse alcun superamento del livello di intervento. Nessun superamento delle soglie di riferimento si è verificato nel 2017 per le particelle β .

La valutazione dell'attività γ è stata basata su 121 misurazioni e non è stata riscontrata nessuna anomalia.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Il range di valori rilevati mediante spettrometria γ è sempre risultato ampiamente inferiore ai livelli stabiliti, e sovrapponibile a quanto misurato nel periodo precedente all'attività di scavo.

Tutte le analisi condotte sui filtri per monitorare la radioattività nel particolato atmosferico hanno fornito valori tipici del fondo. Le analisi dei filtri per particelle aerodisperse non hanno quindi rivelato la presenza di livelli di radioattività anomali e attribuibili alle attività di cantiere.

Non si sono rilevate presenze di attività di radionuclidi al di sopra dei livelli di riferimenti adottati.

Gas Radon

Modalità e risultati

Per quanto riguarda il Gas Radon è stato attuato in regime di sorveglianza un piano di campagne di misura in continuo presso la stazione A5.4 Frazione La Maddalena (prossimità cantiere) durante la fase di scavo (mentre in fase di *ante-operam* sono state effettuate misurazioni in continuo anche presso la stazione A5.1b Chiomonte-Scuole Elementari).

Come per l'emissione di particelle α e β totali e spettrometria γ su campioni PTS la condizione di attenzione è stata inoltre prevista in ogni caso a seguito di rinvenimento di materiale roccioso radioattivo segnalato dai sensori al fronte di scavo.

I risultati della misura effettuata in continuo con tecnica strumentale presso la stazione di monitoraggio A5.4 - Frazione La Maddalena nel corso degli anni 2013 e 2014 hanno fornito un valore medio di concentrazione di ^{222}Rn in aria abbondantemente al di sotto del livello di attenzione fissato dal PMA pari a 40 Bq/m^3 (valore medio in una settimana di campionamento, fissato come pari al doppio della media dei valori misurati nella fase *ante-operam*) e al livello di intervento pari a 40 Bq/m^3 (il doppio del livello di attenzione stabilito dal PMA), con valori paragonabili a quanto registrato in fase di *ante-operam*. Nel 2014, nel periodo compreso fra l'ottava e l'undicesima settimana, è stato rilevato un unico superamento del livello di attenzione, con il raggiungimento del valore massimo di $43,8 \pm 7,7 \text{ Bq/m}^3$. Tale valore è sensibilmente inferiore agli 80 Bq/m^3 fissati come soglia di intervento dal piano di monitoraggio (pari al doppio del livello di attenzione). Sono stati comunque condotti accertamenti per valutare la congruità del dato analitico e, secondo i risultati dell'indagine condotta dai tecnici di TELT, l'anomalia rilevata sarebbe stata determinata da un non idoneo posizionamento del sistema di misura, ubicato all'interno della zona uffici del cantiere, in locali non adibiti a luogo abitabile, non ventilati. Lo strumento è stato successivamente



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

posizionato in una struttura esterna e non sono stati riscontrati ulteriori superamenti del livello di attenzione.

Tutte queste osservazioni, hanno indotto a sospendere dalla fine dell'anno 2014 il monitoraggio delle concentrazioni di Gas Radon in aria. Tale decisione è stata assunta in confronto e con il parere favorevole degli Enti di Controllo, in quanto non si è verificata alcuna reale anomalia della situazione ambientale.

Dall'analisi comparativa dei report redatti da TELT sugli esiti dei monitoraggi in galleria i livelli di Gas Radon registrati sono risultati bassi, inferiori alla media della regione Piemonte, tutti nell'ambito dei limiti normativi.

➤ **Radioattività Naturale sulle risorse**

Modalità

Al fine di prevenire ogni rischio derivante dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti si è proceduto a verificare e monitorare le eventuali dispersioni di radioattività naturale legate alle attività di scavo del cunicolo mediante monitoraggio delle emissioni di particelle α e β anche nelle risorse idriche, sia superficiali sia sotterranee.

Per quanto riguarda le acque superficiali, in assetto di sorveglianza, sono stati previsti controlli mensili (esclusi i mesi di settembre, ottobre e dicembre 2013 per sospensione dell'attività di scavo), effettuati sulla Dora Riparia nelle sezioni di monte e di valle della confluenza del Torrente Clarea.

A partire dal 2015 il monitoraggio delle risorse idriche superficiali è stato eseguito con frequenza bimestrale per l'assetto di sorveglianza, in base a quanto prestabilito dal PMA così come concordato nella riunione con TELT presso il Dipartimento di Ivrea, finalizzata alla ridefinizione del monitoraggio esterno (verbale di riunione ARPA del 10/11/2014).

Stazioni di monitoraggio in corso d'opera:

ASP-031, T. Dora Riparia, valle discarica Colombera /monte confluenza Clarea

ASP-032, T. Dora Riparia, valle confluenza Clarea.

E' stata inoltre prevista un'intensificazione dei controlli, quindicinale in caso di stato di attenzione, e controlli settimanali estesi a tutte le stazioni in condizioni di stato di intervento.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Per quanto riguarda il controllo delle acque sotterranee, per l'assetto di sorveglianza, è stata definita una campagna di campionamenti trimestrali (marzo, giugno, settembre e dicembre) individuando i seguenti punti acqua della rete Maddalena:

- AST - 010 - Pratovecchio (comune di GIAGLIONE)
- AST - 011 - Boscocedrino (Comune di GIAGLIONE)
- AST - 012 - Vasca Supita (Comune di GIAGLIONE)
- AST - 218 - Greisone (Comune di GIAGLIONE)
- AST - 222 - Verger (Comune di CHIOMONTE)
- AST - 381 - Chejera (Comune di CHIOMONTE)
- AST - 441 - Vasca rottura 2 - Greisone (Comune di GIAGLIONE)
- AST - 446 - S. Chiara (Comune di GIAGLIONE)
- AST - 486 - Vasca Cels (Comune di EXILLES)
- AST - 496 - Pietra Porchera (Comune di CHIOMONTE)
- AST - 500 - Colonia Goranda (Comune di CHIOMONTE)
- AST - 701- Rigaud (dal giugno 2016 su richiesta del Comune di Chiomonte).

E' stata inoltre prevista un'intensificazione dei controlli, con cadenza mensile in caso di stato di attenzione, con estensione al monitoraggio trimestrale delle stazioni a destra della Dora, mentre sono stati previsti controlli quindicinali estesi a tutte le stazioni in condizioni di stato di intervento.

A partire dal 2015 il monitoraggio delle risorse idriche sotterranee stato è eseguito con frequenza semestrale, così come concordato nella riunione con TELT presso il Dipartimento di Ivrea, finalizzata alla ridefinizione del monitoraggio esterno (verbale di riunione ARPA del 10/11/2014).

I valori di concentrazione di attività α e β totali di riferimento sono stati i valori di *screening* indicati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità OMS (0,5 Bq/l per l' α totale e 1 Bq/l per il β totale), che sono stati i valori superiori di attenzione fissati per particelle α e β nel PMA, definiti in accordo con gli Enti di Controllo, che garantiscono anche il rispetto del limite di dose di 0,1 mSv/anno fissato dal Decreto Legislativo 2 febbraio 2001, n.31 "Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano".

Nel corso dell'anno 2016 (verbale Arpa 19/07/2016) si è verificato un aggiornamento con adeguamento dei valori di attenzione stabiliti nel PMA, facendo riferimento al DLgs 28 del



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

15/02/2016, che stabilisce i requisiti per la tutela della salute della popolazione relativamente alle sostanze radioattive presenti nelle acque destinate al consumo umano; i livelli di attenzione ambientale sono diventati dunque 0,5 Bq/l per la misura β totale e 0,1 Bq/l per la misura α totale.

In caso di superamento dei livelli di attenzione è prevista la segnalazione a RSGA e DL per la predisposizione delle necessarie misure, e la determinazione della concentrazione di attività dell' ^{238}U , e successivamente del ^{226}Ra e ^{228}Ra .

Il livello di intervento proposto, determinato sulla base della concentrazione degli isotopi dell' ^{238}U contenuti nel campione di acqua e successivamente di quella del ^{226}Ra e ^{228}Ra , è stato il criterio di dose indicativa di 0,1 mSv/anno (DLgs 28 del 15/02/2016), con immediata segnalazione a RSGA e DL per la predisposizione delle necessarie misure.

Dal 2012 a fine 2017 sono risultati disponibili circa 300 rilievi relativi sia alle particelle α e 300 relativi alle particelle β , sia sulle risorse idriche superficiali sia sotterranee.

I valori di concentrazione di attività α e β totale sono risultati inferiori ai valori di *screening* indicati dall'OMS (0,5 Bq/l per l' α totale e 1 Bq/l per il β totale), e ai nuovi valori di riferimento introdotti dal Dlgs 28 del 15/02/2016.

Non si sono mai verificate significative variazioni dei valori registrati in fase d'opera rispetto a quelli *ante-operam*, e non si sono evidenziate variazioni significative dei normali livelli di fondo della radioattività ambientale, tali da consentire di ipotizzare un impatto sullo stato di salute della popolazione connesso all'attività di cantiere.

d. *Stima (caratterizzazione) del rischio (impatto) per i pericoli allo studio*

L'ultima fase del processo di valutazione del rischio cerca di caratterizzare il medesimo descrivendone la natura e la grandezza per la popolazione esposta, attraverso una stima della magnitudo degli effetti avversi attesi, espressa attraverso un indicatore della probabilità che si verifichino tali eventi (rischio) oppure un valore numerico di casi attesi nella popolazione esposta.

Come già ribadito in precedenza, nonostante sia stato presentato un compendio di tutte le componenti ambientali monitorate, sono stati esaminati i soli effetti dovuti alla inalazione del



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

pericolo stesso (esposizione in atmosfera), avendo considerato tale effetto predominante (per non dire esclusivo) in termini di esposizione rispetto a quelli legati all'esposizione per ingestione o all'esposizione cutanea.

Per i calcoli relativi alla stima del rischio e dei casi attesi (cioè, in termini generali, alla stima di impatto), si è fatto riferimento prevalentemente al contenuto del capitolo 4.3. ("*Approcci metodologici per la valutazione integrata degli impatti sanitari e ambientali*") del documento di ISPRA e del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (pubblicazione datata 22 Aprile 2015) intitolato "*Linee guida per la valutazione integrata di impatto ambientale e sanitario (VIAS) nelle procedure di autorizzazione ambientale (VAS, VIA, AIA)*", integrato con le considerazioni e le formule riportate nella Appendice 1 ("*Approfondimenti metodologici*") dello stesso documento.

Le indicazioni ivi contenute prevedono un doppio percorso:

- ✓ un approccio di tipo tossicologico (Human Health Risk Assessment - RA), applicabile a una serie molto ampia di sostanze chimiche (nel caso in questione la procedura è stata applicata a tutti i contaminanti considerati, ad esclusione del particolato aerodisperso e degli ossidi di azoto), le cui caratteristiche tossicologiche e cancerogene (soprattutto per quanto riguarda la relazione dose-risposta) sono note e raccolte in specifici database (si veda il precedente punto "b. Valutazione della relazione dose-risposta"). Come già indicato, lo sviluppo di tale percorso è stato condotto con esclusivo riferimento alla esposizione per via inalatoria;
- ✓ un approccio di tipo epidemiologico (Health Impact Assessment - HIA), applicabile al particolato aerodisperso (PM₁₀ e PM_{2,5}) ed agli ossidi di azoto (NO_x) per i quali non sono note in letteratura le caratteristiche tossicologiche (in termini di unità di rischio, o altro indicatore, per la relazione dose-risposta) o ne viene ancora discussa l'effettiva valenza quanto ad effetti sanitari avversi. L'approccio epidemiologico può naturalmente essere applicato anche alle singole sostanze per le quali è disponibile l'approccio tossicologico, ma richiede preventivamente l'identificazione di una relazione dose-risposta che produca le grandezze epidemiologiche (Rischio Relativo per unità di dose) necessarie all'applicazione del metodo.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Human Health Risk Assessment – RA

Seguendo tale approccio, la formula per il calcolo del rischio (R) assume due formulazioni, a seconda che si stia valutando il rischio cancerogeno o il rischio non cancerogeno.

Rischio cancerogeno

Il rischio, per ogni sostanza i-esima, (R_i) è espresso come prodotto tra la concentrazione di esposizione media annuale aggiuntiva attribuibile alla realizzazione del cunicolo de La Maddalena per quella sostanza (CE_i) ed il valore della unità di rischio cancerogeno per quella stessa sostanza (UR_i):

$$R_i = UR_i * CE_i$$

dove:

UR_i = inhalation Unit Risk, espressa in $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$, rappresenta il rischio addizionale di sviluppare un tumore in un tempo di vita di 70 anni, all'interno di una ipotetica popolazione di 1.000.000 di persone le quali abbiano tutte una concentrazione di esposizione (CE_i) costante e pari ad $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ della sostanza nell'aria che respirano

CE_i = concentrazione di esposizione media annuale (espressa in $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Il valore CE_i viene calcolato attraverso la seguente equazione:

$$CE_i = (CA_i \times ET \times EF \times ED) / AT$$

dove:

CA_i = concentrazione media annuale aggiuntiva attribuibile alla realizzazione del cunicolo de La Maddalena per quella sostanza in aria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ET = tempo di esposizione (ore/giorno)

EF = frequenza di esposizione (giorni/anno)

ED = durata di esposizione (anni)

AT = tempo sul quale l'esposizione è mediata (70 anni x 365 gg/a x 24 ore/die).

Il valore risultante di R_i è un numero assoluto adimensionale che rappresenta il rischio addizionale di sviluppare un tumore in un tempo di vita di 70 anni all'interno di una ipotetica popolazione di 1.000.000 di persone esposta alla concentrazione media annuale aggiuntiva attribuibile alla realizzazione del cunicolo de La Maddalena per quella i-esima sostanza.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Nel caso delle sostanze genotossiche, le indicazioni internazionali (si veda, ad esempio: USEPA, “*Supplemental guidance for assessing susceptibility from early-life exposure to carcinogens*”, 2005) suggeriscono di introdurre una variazione nella formula per tenere conto della età del bersaglio potenzialmente esposto (popolazioni sensibili o fragili). A tal proposito vengono suggeriti tre fattori di aggiustamento: 10, per una età compresa tra 0 e 2 anni; 3 per una età compresa tra 3 e 16 anni; 1 per una età superiore a 16 anni. Adottando tali coefficienti, la formula per il calcolo del rischio per ogni singola sostanza genotossica si modifica come segue:

$$R_i = UR_i * CE_{i,0-2} \times 10 + UR_i * CE_{i,3-16} \times 3 + UR_i * CE_{i,>16} \times 1$$

Per i valori di R_i così calcolati si ritiene che valgano le proprietà additive, ossia che il rischio determinato da più pericoli sia dato dalla somma dei rischi calcolati per ogni singolo pericolo. Le singole stime di R_i vengono quindi sommate per ottenere il rischio complessivo risultante:

$$R = \sum_i R_i$$

[Nota Bene. Il valore di rischio di cui alle formule precedenti corrisponde ad un rischio cumulativo per tutta la vita (ELCR - Estimated Lifetime Cancer Risk - definito come la probabilità incrementale dell'insorgenza di casi di tumore nel corso della vita causati dall'esposizione alla sostanza cancerogena in studio, considerando per convenzione un'esposizione della durata di 70 anni).]

Tale valore di rischio viene infine sottoposto ad un giudizio di accettabilità, solitamente attraverso il confronto con un valore che esprime il rischio ritenuto accettabile come conseguenze dell'esposizione a quell'insieme di pericoli di tipo cancerogeno.

La discussione su quale debba essere il valore di rischio accettabile è ovviamente una discussione aperta con posizioni sostanzialmente divergenti. La maggioranza delle interpretazioni si confronta con un valore di rischio, per ogni sostanza, di 10^{-6} , ritenendo accettabili solo rischi inferiori a tale valore. Le discussioni presenti in letteratura sono però più ampie e flessibili: da una parte vi è concordanza nel non accettare rischi (sempre per singola sostanza) superiori a 10^{-4} , dall'altra vengono valutati come accettabili anche rischi che abbracciano l'insieme dei valori che vanno da 10^{-4} a 10^{-6} ,



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

con però eventuali (e diversi) suggerimenti (in genere sotto forma di opere di mitigazione) su come comportarsi quando il rischio è superiore a 10^{-6} (ma comunque inferiore a 10^{-4}).

Non altrettanto definita è invece la discussione attorno al valore effettivamente accettabile per il rischio cumulativo (rischio sommato per tutte le sostanze e tutte le vie di esposizione): in questo caso la preferenza sembra andare nel considerare accettabile un valore di rischio inferiore a 10^{-5} .

Rischio non cancerogeno

Nel caso di effetti non cancerogeni, la stima del rischio passa attraverso il calcolo dello Hazard Quotient (HQ), coefficiente che (per ogni i-esima sostanza) è ottenuto come rapporto tra la concentrazione di esposizione media annuale aggiuntiva attribuibile alla realizzazione del cunicolo de La Maddalena per quella sostanza (CE_i) ed il valore della dose di riferimento (per quella stessa sostanza) RfC_i :

$$HQ_i = CE_i / (RfC_i \times 1000 \text{ mg/m}^3)$$

dove:

HQ_i = Quoziente di Pericolo, esprime di quanto l'esposizione alla sostanza supera la dose di riferimento inalatoria (RfC_i);

CE_i = concentrazione di esposizione media annuale (espressa in $\mu\text{g/m}^3$);

RfC_i = inhalation Reference Concentration, è la stima della quantità massima di sostanza che può essere inalata giornalmente e per tutta la vita senza comportare apprezzabili rischi per la salute umana.

Il valore CE_i viene calcolato ancora attraverso la seguente equazione:

$$CE_i = (CA_i \times ET \times EF \times ED) / AT$$

dove:

CA_i = concentrazione media annuale aggiuntiva attribuibile alla realizzazione del cunicolo de La Maddalena per quella sostanza in aria ($\mu\text{g/m}^3$)

ET = tempo di esposizione (ore/giorno)

EF = frequenza di esposizione (giorni/anno)

ED = durata di esposizione (anni)

AT = tempo sul quale l'esposizione è mediata (70 anni x 365 gg/a x 24 ore/die).



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Il valore risultante di HQ_i è un numero assoluto adimensionale che rappresenta, come detto, quante volte l'esposizione alla sostanza supera la dose di riferimento inalatoria (RfC_i).

Anche per i valori di HQ_i così calcolati si ritiene che valgano le proprietà additive, ossia che il quoziente complessivo (cumulativo) determinato da più pericoli sia dato dalla somma dei quozienti calcolati per ogni singolo pericolo.

Le singole stime di HQ_i vengono quindi sommate per ottenere il valore HQ complessivo risultante:

$$HQ = \sum_i HQ_i$$

Anche per le sostanze non cancerogene il valore di HQ (quoziente di pericolo) risultante viene sottoposto ad un giudizio di accettabilità: in questo caso la valutazione risulta semplificata, perché (pur all'interno di una discussione che rimane sempre aperta e che vede la presenza di posizioni diversificate) vi è un generale accordo nel considerare accettabile un valore di HQ che sia inferiore a 1 ed inaccettabile un valore di HQ superiore a 1.

[Nota Bene. Per le altre variabili contenute nelle formule di calcolo previste dalla metodologia di Risk Assessment, sono stati utilizzati i valori che seguono, riferiti ad una popolazione residente con esposizione giornaliera continua (24 ore) per tutto l'anno (365 giorni) e per tutta la durata della vita (durata che per convenzione viene fissata in 70 anni):

ET = tempo di esposizione (ore/giorno) = 24 ore

EF = frequenza di esposizione (giorni/anno) = 365 giorni

ED = durata di esposizione (anni) = 70 anni

AT = tempo sul quale l'esposizione è mediata (70 anni x 365 gg/a x 24 ore/die).]

Health Impact Assessment - HIA

Come anticipato, per il particolato aerodisperso (PM_{10} e $PM_{2,5}$) e per gli ossidi di azoto (NO_x) non sono note (o condivise) in letteratura le caratteristiche tossicologiche (in termini di unità di rischio, o altro indicatore, per la relazione dose-risposta), il che impedisce di utilizzare il



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

percorso tecnico proposto in precedenza e riconducibile al risk assessment-RA (approccio tossicologico).

In sua alternativa, viene proposto un approccio cosiddetto epidemiologico, che passa attraverso la metodologia di calcolo di quello che in epidemiologia viene definito come il "rischio attribuibile". Applicando tale concetto di rischio (e cioè il rischio attribuibile alla esposizione aggiuntiva prodotta da una fonte), vengono calcolati i cosiddetti "casi attesi", cioè il numero di casi addizionali, attribuibili all'esposizione, che non si sarebbero verificati se non ci fosse stata l'esposizione a quel particolare fattore di rischio.

Il percorso epidemiologico dello Health Impact Assessment (HIA) rappresenta una metodologia di calcolo di tipo generale, che non si applica esclusivamente al caso del particolato aerodisperso (PM_{10} e $PM_{2,5}$), ma che può trovare applicazione per tutte quelle sostanze per le quali sono definibili le grandezze epidemiologiche necessarie per il calcolo stesso. Mentre per il particolato aerodisperso (PM_{10} e $PM_{2,5}$) e per gli ossidi di azoto (NO_x) il percorso epidemiologico (HIA) diventa un riferimento ineludibile per la stima degli impatti sulla salute, in quanto il percorso tossicologico non risulta praticabile (per mancanza dei coefficienti necessari per il calcolo, cioè le UR_i o gli RfC_i), per le sostanze per le quali è possibile il percorso tossicologico (essendo disponibili i relativi coefficienti di calcolo), il percorso epidemiologico rappresenta un'informazione aggiuntiva. In altri termini, l'adozione di entrambi i percorsi consente di inquadrare e descrivere in modo più completo l'impatto ambientale e sanitario che deriverebbe dall'applicazione di una sola delle due metodologie.

In termini generali, nell'approccio epidemiologico vengono utilizzati i rischi relativi derivanti dall'evidenza epidemiologica per effettuare una stima degli eventi sanitari avversi attribuibili ad un incremento (o diminuzione) delle esposizioni conseguenti alla attivazione (o riduzione) di sorgenti emmissive.

Dal punto di vista computazionale, si presentano tre situazioni:

- 1) il caso in cui si vuole stimare il numero di casi attesi conseguenti ad un aumento di esposizione rispetto alla situazione attuale;
- 2) il caso in cui si vuole stimare, invece, il numero di casi attesi conseguenti ad una diminuzione di esposizione rispetto alla situazione attuale;



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

3) il caso in cui si vuole stimare il numero di casi attesi conseguenti alla totale esposizione attuale.

Nel seguito vengono riportate le formule relative ad ogni caso.

[Nota Bene. Poiché la metodologia epidemiologica si applica prevalentemente al caso del particolato aerodisperso e poiché nel caso del particolato aerodisperso i valori di Rischio Relativo sono disponibili, in genere, per variazioni della esposizione di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le formule riportate tengono conto esplicitamente di tale situazione: le stesse formule dovranno essere opportunamente modificate nei casi in cui i Rischi Relativi saranno riferiti a variazioni unitarie della esposizione diverse da $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.]

Caso 1.

Calcolo dei casi di patologia attribuibili ad un aumento dell'esposizione rispetto all'esposizione attuale.

E_{OG} = Scenario di esposizione attuale

E_{DO} = Scenario di esposizione alternativo

$\Delta E = E_{DO} - E_{OG}$

T_i = Tassi di occorrenza della patologia nella popolazione di interesse

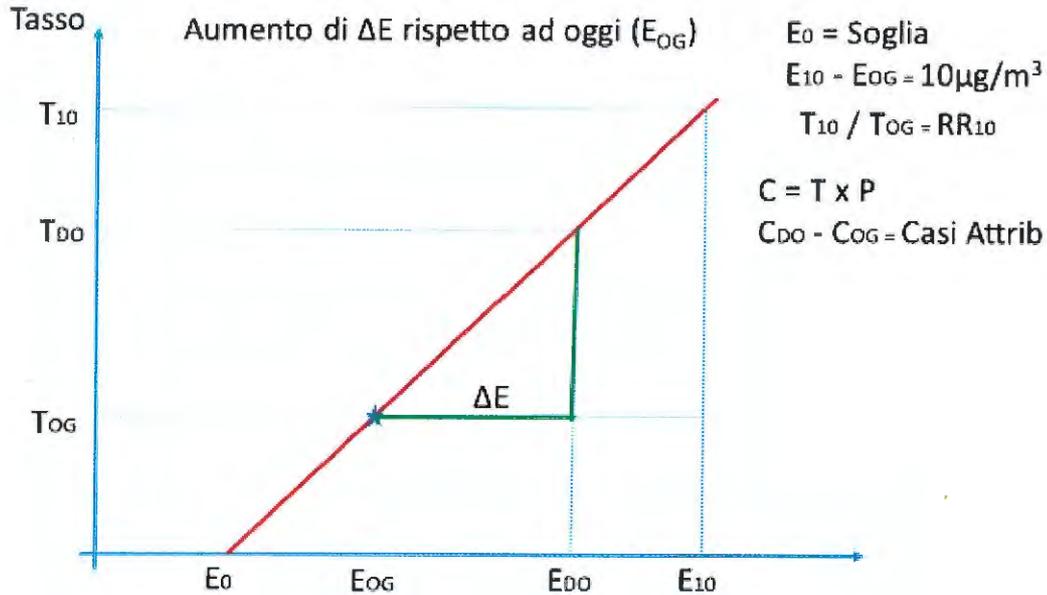
RR_{10} = Rischio Relativo per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di inquinante

P = Popolazione

C_i = Casi di patologia



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini



$$(T_{DO} - T_{OG}) : (E_{DO} - E_{OG}) = (T_{10} - T_{OG}) : (E_{10} - E_{OG})$$
$$(T_{DO} - T_{OG}) = (T_{10} - T_{OG}) \times (E_{DO} - E_{OG}) / 10$$
$$T_{DO} = T_{OG} + (T_{OG} \times RR_{10} - T_{OG}) \times \Delta E / 10 = T_{OG} + T_{OG} \times (RR_{10} - 1) \times \Delta E / 10$$

$$\text{Casi attribuibili} = C_{DO} - C_{OG} = T_{DO} \times P - T_{OG} \times P =$$
$$= (T_{OG} + T_{OG} \times (RR_{10} - 1) \times \Delta E / 10) \times P - T_{OG} \times P =$$
$$= (T_{OG} \times (RR_{10} - 1) \times \Delta E / 10) \times P$$

Caso 2.

Calcolo dei casi di patologia attribuibili ad una diminuzione dell'esposizione rispetto all'esposizione attuale.

E_{OG} = Scenario di esposizione attuale

E_{DO} = Scenario di esposizione alternativo

$\Delta E = E_{DO} - E_{OG}$

T_i = Tassi di occorrenza della patologia nella popolazione di interesse

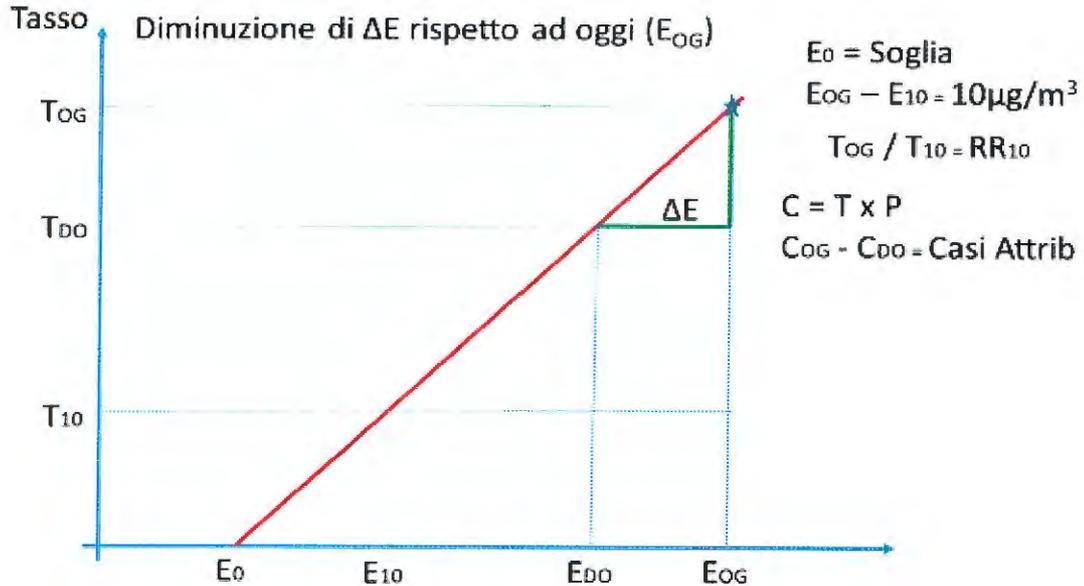
RR_{10} = Rischio Relativo per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di inquinante

P = Popolazione

C_i = Casi di patologia



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
 Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini



$$(T_{OG} - T_{DO}) : (E_{OG} - E_{DO}) = (T_{OG} - T_{10}) : (E_{OG} - E_{10})$$

$$(T_{OG} - T_{DO}) = (T_{OG} - T_{10}) \times (E_{OG} - E_{DO}) / 10$$

$$T_{DO} = T_{OG} + (T_{OG} - T_{OG} / RR_{10}) \times \Delta E / 10 = T_{OG} + T_{OG} \times ((RR_{10} - 1) / RR_{10}) \times \Delta E / 10$$

$$\text{Casi attribuibili} = C_{DO} - C_{OG} = T_{DO} \times P - T_{OG} \times P =$$

$$= (T_{OG} + T_{OG} \times ((RR_{10} - 1) / RR_{10}) \times \Delta E / 10) \times P - T_{OG} \times P =$$

$$= (T_{OG} \times ((RR_{10} - 1) / RR_{10}) \times \Delta E / 10) \times P$$

Caso 3.

Calcolo dei casi di patologia attribuibili all'esposizione attuale.

E_{OG} = Scenario di esposizione attuale

E_{DO} = Scenario di esposizione alternativo

$\Delta E = E_{OG} - E_0$

T_i = Tassi di occorrenza della patologia nella popolazione di interesse

RR_{10} = Rischio Relativo per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di inquinante

P = Popolazione

C_i = Casi di patologia



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

- il valore di rischio relativo per l'evento sanitario avverso considerato, derivando tale valore dalla funzione concentrazione-risposta descritta nella letteratura più aggiornata (si vedano, per il caso in esame, i valori proposti in precedenza);
- la variazione dei valori di esposizione della popolazione in studio, quindi: la differenza tra l'esposizione attuale ed una esposizione di riferimento, oppure l'incremento (il decremento) stimato (attraverso misure o modelli) della concentrazione dell'inquinante dovuto all'attivazione (dismissione) della sorgente emissiva (anche per questo si vedano i valori proposti in precedenza);
- la dimensione numerica della popolazione interessata dalla potenziale variazione della esposizione (nel caso in esame i residenti dei comuni di Chiomonte, Giaglione, Gravere e Susa);
- l'occorrenza di base (in termini di tasso o altro indicatore di frequenza) dell'evento sanitario allo studio, morbosità o mortalità, nella popolazione di riferimento (nel caso in esame i tassi di mortalità e ricovero, di ogni comune allo studio, per le patologie indicate in precedenza).

[Nota Bene. Il numero di casi attesi così calcolato corrisponde ad un valore annuale di casi (in più, in meno, o totali) attribuibili all'azione del pericolo nelle condizioni allo studio, e non ad un rischio cumulativo per tutta la vita (come è invece tipico nel caso del "risk assessment" tossicologico presentato in precedenza).]

Anche il valore numerico di casi attribuibili derivante dai calcoli riferiti all'approccio epidemiologico dovrebbe venire sottoposto ad un giudizio di accettabilità, ma per il momento, nel caso di HIA, non esistono in letteratura indicazioni condivise su quale possa essere un valore di riferimento per l'accettabilità. La semplice moltiplicazione dei casi attesi annuali per 70 (come adottato esemplificativamente nelle già citate linee guida di ISPRA, 2015) ed il confronto del numero così ottenuto con il valore di 10^{-6} (nel tentativo di mimare il percorso di accettabilità stabilito con la metodologia "Risk Assessment") appare troppo semplicistico e non scientificamente supportato.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

**APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA AL CASO DEL CUNICOLO DE LA
MADDALENA**

Il confronto tra i valori degli inquinanti rilevati in corso d'opera e quelli rilevati *ante operam* evidenzia che quanto misurato in termini numerici prima della realizzazione dell'opera è per la maggioranza degli inquinanti e per la maggior parte dei siti di rilevazione superiore a quanto registrato durante le fasi di scavo del tunnel.

A titolo di esempio, la tabella che segue riassume la situazione, usando come indicatori di esposizione sia il valore mediano annuo che il valore medio annuo, mettendo a confronto i valori monitorati durante lo scavo ed i valori monitorati prima dello scavo. Come si può osservare, se si escludono i casi del berillio, del benzene, e del NO₂, per tutti gli altri inquinanti monitorati si osserva una differenza negativa tra i valori rilevati durante lo scavo e quelli rilevati prima dell'opera. Con riferimento invece al PM₁₀ si osservano variazioni negative in tutte le stazioni ad esclusione di Giaglione, dove i valori *ante operam* sono inferiori a quelli rilevati durante l'esecuzione dello scavo.

La situazione, aumento della variabilità a parte, non cambia né modificando l'indicatore di esposizione utilizzato e neppure spezzando l'analisi nei vari anni di osservazione: il risultato che emerge indica sempre che nella maggioranza degli inquinanti e delle stazioni monitorate i valori osservati prima dell'inizio dell'opera risultano superiori ai valori rilevati in corso d'opera.

In tale contesto, ed osservando che la numerosità delle rilevazioni effettuate durante l'esecuzione dello scavo è decisamente superiore rispetto a quelle effettuate prima del suo inizio (il che deve indurre ad interpretare con prudenza i confronti effettuati in quanto potrebbe non essere stata completamente catturata la variabilità naturale dell'inquinamento *ante operam*), chi scrive ritiene che le variazioni degli inquinanti osservate durante lo scavo (rispetto ai valori prima dello scavo) non possano essere ricondotte alle attività di scavo ma debbano essere interpretate come variabilità naturale (nel senso di "non attribuibile alla costruzione del tunnel") del fenomeno: non appare infatti ragionevole ipotizzare che le osservate diminuzioni nel tempo (fase di cantiere *versus* fase *ante operam*) nei valori di inquinamento possano essere attribuite alla costruzione del tunnel. Questa esperienza ci consegna pertanto un importante insegnamento in proposito: nel caso di analoghe attività risulta fondamentale dedicare significative risorse alla stima della situazione



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

ambientale prima dell'inizio delle operazioni di cantiere, perché l'inquinamento presenta significative variazioni nel tempo e nello spazio a prescindere dalle attività di scavo.

Tabella 17. Variazioni nel tempo degli inquinanti monitorati: confronto tra la situazione (valore mediano, valore medio) durante le attività di scavo e la situazione *ante operam*. I valori negativi indicano che i valori rilevati durante l'esecuzione dell'opera sono risultati inferiori ai valori rilevati *ante operam*.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Sostanza	Punto di prelievo	MedianaPost-	
		MedianaPre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MediaPost-MediaPre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Arsenico	A3.1b (Susa)	-1,8997930	-1,8997930
	A5.1b-A5.4 (Chiomonte)	-0,3280000	-0,2316918
	A5.20b (Gravere)	-0,3560000	-0,2859552
Benzo(a)Pirene	A3.1b (Susa)	-0,0028325	-0,0028325
	A5.1b-A5.4 (Chiomonte)	-0,0020000	0,0649268
	A5.20b (Gravere)	0,0370000	0,4637236
Berillio	A3.1b (Susa)	0,0000135	0,0000000
	A5.1b-A5.4 (Chiomonte)	0,0000140	0,0000115
	A5.20b (Gravere)	0,0000245	0,0000334
Cobalto	A3.1b (Susa)	0,0001095	0,0001095
	A5.1b-A5.4 (Chiomonte)	-0,0001730	-0,0001598
	A5.20b (Gravere)	-0,0005185	-0,0004071
Mercurio	A3.1b (Susa)	0,0000080	0,0000080
	A5.1b-A5.4 (Chiomonte)	-0,0000050	-0,0000026
	A5.20b (Gravere)	-0,0001105	-0,0000738
Nichel	A3.1b (Susa)	-1,7681600	-1,7681600
	A5.1b-A5.4 (Chiomonte)	-3,7500000	-3,3270026
	A5.20b (Gravere)	-2,9050000	-0,9763060
Piombo	A3.1b (Susa)	-0,0025100	-0,0025100
	A5.1b-A5.4 (Chiomonte)	-0,0008100	-0,0004379
	A5.20b (Gravere)	-0,0010650	-0,0004950
Selenio	A3.1b (Susa)	-0,0000260	-0,0000260
	A5.1b-A5.4 (Chiomonte)	-0,0000070	0,0000279
	A5.20b (Gravere)	-0,0000640	0,0000350
Zinco	A3.1b (Susa)	-0,0485500	-0,0485500
	A5.1b-A5.4 (Chiomonte)	-0,0314000	-0,0184776
	A5.20b (Gravere)	-0,0526500	-0,0319800
Benzene	A3.1b (Susa)	0,1930000	0,3370000
	A5.1b-A5.4 (Chiomonte)	0,0350000	0,2460000
	A5.20b (Gravere)	0,1720000	0,5180000
PM10	A3.1b (Susa)	-4,8000000	-4,0740000
	A5.1b-A5.4 (Chiomonte)	-6,5000000	-7,0160000
	A5.20b (Gravere)	-5,9500000	-3,9360000
	A6.6 (Giaglione)	6,4500000	7,8880000
NO2	A3.1b (Susa)	3,8000000	6,9100000
	A5.1b-A5.4 (Chiomonte)	4,2000000	1,4400000

Questa considerazione sarebbe di per sé sufficiente a far terminare qui il percorso di valutazione di impatto sulla salute, perché gli eventuali effetti che se ne osserverebbero non sarebbero comunque attribuibili alle operazioni di scavo del tunnel de La Maddalena. Considerato però anche il valore



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

metodologico delle attività condotte, nel seguito si è voluto comunque fornire un esempio numerico delle conseguenze delle attività di valutazione di impatto.

Per condurre l'esempio sono state selezionate, come rappresentative di un eventuale effetto delle attività di scavo, le situazioni in cui si è osservato un aumento della esposizione, nell'ipotesi che tale aumento costituisca (in termini di maggiore inquinamento) l'esito dell'opera. Nello specifico, poiché si è osservato un aumento della esposizione a berillio e benzene, per queste due sostanze è stata effettuata la valutazione di *risk assessment* cancerogeno e tossicologico secondo le formule introdotte in precedenza; ed inoltre, poiché è stato osservato un aumento della esposizione a PM₁₀ (e PM_{2,5}) a Giaglione, ed un aumento di NO₂ a Chiomonte e Susa, per questi inquinanti è stata effettuata la valutazione di *health impact assessment* (epidemiologico) utilizzando le formule introdotte in precedenza. I risultati sono riportati nelle due tabelle che seguono.

Per quanto riguarda il berillio, l'esercizio condotto ha mostrato che (per l'aumento di esposizione indicata) il rischio cancerogeno è risultato largamente inferiore a 10⁻⁶ e che il rischio tossicologico è risultato largamente inferiore ad 1, in tutte le stazioni di monitoraggio in cui l'esposizione durante lo scavo è risultata superiore alla esposizione prima dello scavo.

Per quanto riguarda il benzene, l'esercizio condotto ha mostrato che (per l'aumento di esposizione indicata) il rischio cancerogeno è risultato appena superiore a 10⁻⁶ (ma inferiore a 10⁻⁵) e che il rischio tossicologico è risultato largamente inferiore ad 1, in tutte le stazioni di monitoraggio in cui l'esposizione durante lo scavo è risultata superiore alla esposizione prima dello scavo.

Per quanto riguarda il PM₁₀, l'esercizio condotto ha mostrato che (per l'aumento di esposizione indicata) il numero di casi attesi ogni anno a Giaglione è dell'ordine di qualche centesimo di caso (per la patologia più frequente) per ciascuna delle patologie segnalate dalla letteratura come rilevanti per tale tipo di inquinamento (mortalità naturale, mortalità respiratoria, mortalità cardiovascolare, ricoveri respiratori). Ciò significa che per raggiungere il valore di un solo caso aggiuntivo occorre attendere diverse decine di anni.

Per quanto riguarda il PM_{2,5} sempre a Giaglione (con riferimento alla mortalità per tumori del polmone, e ai ricoveri respiratori) l'esercizio condotto ha mostrato che (per l'aumento di esposizione indicata) il numero di casi attesi ogni anno è dell'ordine di qualche centesimo di caso, mentre con riferimento alla mortalità naturale il numero di casi attesi ogni anno è dell'ordine di qualche decimo di caso. Si ricorda che per il PM_{2,5} si è adottata l'ipotesi conservativa che il valore



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

dell'aumento di inquinamento corrisponda al valore di aumento del PM_{10} , anche se è noto che il $PM_{2,5}$ è solo una parte del PM_{10} .

Infine, per quanto riguarda NO_2 , l'esercizio condotto ha mostrato che (per l'aumento di esposizione indicata) il numero di casi attesi ogni anno a Susa è dell'ordine di qualche centesimo di caso per la mortalità naturale (ovviamente molti di meno sono i casi attesi a Chiomonte, per via della minore popolazione residente) e di qualche decimo di caso per i ricoveri respiratori (qualche centesimo a Chiomonte).

Come si può facilmente osservare, il numero di casi attesi nella valutazione di rischio epidemiologica è talmente piccolo che, anche qualora si attendesse il necessario numero di anni perché si possa verificare qualche caso aggiuntivo, tali casi risulteranno comunque indistinguibili rispetto alla naturale variabilità del fenomeno (come si può apprezzare dalle ampie variazioni periodiche che hanno i dati sanitari, sia di mortalità che di ricovero, che sono stati presentati nelle precedenti relazioni).



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Tabella 18. Esercizio di risk assessment cancerogeno e tossicologico. Sono riportate le variazioni nel tempo (*post operam - ante operam*) delle esposizioni (mediana, media), i valori delle Unità di Rischio cancerogeno (I.U.R.) e delle concentrazioni di riferimento per il rischio tossicologico (R.f.C.), i risultati del rischio cancerogeno (per 10^{-6} : R E-06) e del rischio tossicologico (HQ).

Sostanza	Punto di prelievo	MedianaPost-MedianaPre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MediaPost-MediaPre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	I.U.R. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	R.f.C (mg/m ³)	R E-06 (DeltaEsp_Mediana)	R E-06 (DeltaEsp_Media)	HQ (DeltaEsp_Mediana)	HQ (DeltaEsp_Media)
Berillio	A3.1b (Susa)	0,0000135	0,0000000	0,0024000	0,00002	0,0324	0,0000	0,00068	0,00000
	A5.1b-A5.4 (Chiomonte)	0,0000140	0,0000115	0,0024000	0,00002	0,0336	0,0276	0,00070	0,00057
	A5.20b (Gravere)	0,0000245	0,0000334	0,0024000	0,00002	0,0588	0,0802	0,00123	0,00167
Benzene	A3.1b (Susa)	0,1930000	0,3370000	0,0000078	0,03000	1,5054	2,6286	0,00643	0,01123
	A5.1b-A5.4 (Chiomonte)	0,0350000	0,2460000	0,0000078	0,03000	0,2730	1,9188	0,00117	0,00820
	A5.20b (Gravere)	0,1720000	0,5180000	0,0000078	0,03000	1,3416	4,0404	0,00573	0,01727



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Tabella 19. Esercizio di health impact assessment (epidemiologico). Sono riportate le variazioni nel tempo (*post operam - ante operam*) delle esposizioni (mediana, media), le patologie considerate, il Rischio Relativo (RR) di letteratura, il tasso di riferimento per la patologia considerata, la popolazione dei comuni, i risultati del calcolo del rischio in termini di numero di casi attesi ogni anno (per la variazione mediana e per la variazione media). [Nota Bene: per il PM_{2,5} si è considerata, cautelativamente, una esposizione analoga a quella del PM₁₀]

Sostanza	Punto di prelievo	MedianaPost-MedianaPre (µg/m ³)	MediaPost-MediaPre (µg/m ³)	Patologia	RR	Tasso x 100.000	Popolazione	Attesi (Delta Mediana)	Attesi (Delta Media)
PM10	A6.6 (Giaglione)	6,45	7,888	Mortalità Naturale	1,0074	426,20	626	0,01273	0,01557
	A6.6 (Giaglione)	6,45	7,888	Mortalità Respiratoria	1,0120	32,70	626	0,00158	0,00194
	A6.6 (Giaglione)	6,45	7,888	Mortalità Cardiovascolare	1,0080	179,20	626	0,00579	0,00708
	A6.6 (Giaglione)	6,45	7,888	Ricoveri Respiratori	1,0080	638,05	626	0,02061	0,02520
PM2.5	A6.6 (Giaglione)	6,45	7,888	Mortalità Naturale	1,0620	426,20	626	0,10669	0,13048
	A6.6 (Giaglione)	6,45	7,888	Mortalità Tum. polmoni	1,0900	34,05	626	0,01237	0,01513
	A6.6 (Giaglione)	6,45	7,888	Ricoveri Respiratori	1,0190	638,05	626	0,04895	0,05986
NO2	A3.1b (Susa)	3,80	6,910	Mortalità Naturale	1,0027	426,20	6414	0,02805	0,05100
	A5.1b-A5.4 (Chiomonte)	4,20	1,440	Mortalità Naturale	1,0027	426,20	881	0,00426	0,00146
NO2	A3.1b (Susa)	3,80	6,910	Ricoveri Respiratori	1,0190	638,05	6414	0,29548	0,53730
	A5.1b-A5.4 (Chiomonte)	4,20	1,440	Ricoveri Respiratori	1,0190	638,05	881	0,04486	0,01538



ALLEGATO A

VALUTAZIONE DI IMPATTO SULLA SALUTE GALLERIA GEOGNOSTICA DELLA MADDALENA

L'operazione di valutazione di impatto sulla salute in relazione alla costruzione della galleria geognostica della Maddalena si sviluppa attraverso un percorso che fonda sulla fase di "SCOPING" l'elemento fondamentale.

Il percorso di valutazione comprenderà in linea generale le seguenti fasi:

1. La raccolta e la catalogazione del materiale quali le disposizioni legislative, piani e programmi inerenti il settore e l'investimento;
2. La raccolta delle informazioni preliminari circa il progetto con particolare riferimento all'ubicazione, costruzione, esercizio, smantellamento e ripristino del sito di lavorazione;
3. Inquadramento del progetto rispetto al sistema di area vasta in cui esso si inserisce;
4. Individuazione e caratterizzazione dei principali fattori di pressione e loro scansione temporale nelle diverse fasi dell'opera ovvero fase ante-operam, fase di cantiere e fase di esercizio;
5. Individuazione e quantificazione dei fattori fisici e chimici (per esempio radiazioni, rumore, polveri, sostanze chimiche, ...) che vengono prodotti dall'opera ed immessi nelle matrici ambientali, loro quantificazione nel tempo ed esame della letteratura sulla esposizione;
6. Identificazione dell'area allo studio con definizione dei confini geografici dell'area allo studio, definizione della popolazione coinvolta e delle eventuali sottopopolazioni sensibili, caratterizzazione del profilo della popolazione (dimensione, densità, distribuzione per età – sesso, natalità, stato socio-economico);
7. Individuazione degli effetti potenziali sulla salute causati/associati ai fattori fisici e chimici precedentemente identificati con esame della letteratura sugli effetti della salute;
8. Individuazione dei determinanti di salute da considerare e studio della letteratura sui determinanti degli effetti sulla salute;
9. Valutazione dello stato di salute della popolazione ante operam comprendente la raccolta delle informazioni sulla salute della popolazione già pubblicate o disponibili, la definizione di eventuali ulteriori dati da raccogliere (mortalità, ricoveri, farmaci), eventuale



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

elaborazione dei dati raccolti; rappresentazione dello stato di salute della popolazione ante operam;

10. Ripetizione dei passi 5, 6, 7, 8 per la fase di cantiere;
11. Stima di eventi critici sulla salute della popolazione coinvolta nella fase di cantiere attraverso l'applicazione dell'approccio tossicologico e dell'approccio epidemiologico e quantificazione degli eventi attesi;
12. Ripetizione dei passi 5, 6, 7, 8, 11 per la fase di esercizio con quantificazione degli eventi attesi a breve e a lungo termine;
13. Individuazione di misure correttive, di mitigazione, di miglioramento, con riferimento agli effetti sulla salute, specificamente per le varie fasi dell'opera;
14. Indicazioni per il monitoraggio dei fattori di pressione/esposizione nelle varie fasi, indicazioni per il monitoraggio dello stato di salute nelle varie fasi, indicazioni per il monitoraggio dei determinanti dello stato di salute nelle varie fasi, confronto tra i valori predetti ed i valori osservati nelle varie fasi ed eventuali proposte di intervento.

Prof. Enrico Pira



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ACGIH. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. Cincinnati, Ohio, USA: American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH). 2014

Andrion A, Pira E, Mollo F. Indicators of asbestos exposure in autopsy routine. *Med. Lav.*, 74: 137-142, 1983

Andrion A, Pira E, Mollo F. Pleural plaques at autopsy, smoking habits, and asbestos exposure. *Eur J Resp Dis*, 65: 125-130, 1984

Anttila A, Pukkala E, Aitio A, et al. Update of cancer incidence among workers et a copper/nickel smelterand nickel refinery. *Int Arch Occup Environ Health* . 1998; 71: 245-50.

ATSDR. Toxicological profile for arsenic. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Centers for Disease Control and Prevention's; August 2007.

ATSDR. Toxicological profile for cadmium. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Centers for Disease Control and Prevention's; September 2012.

ATSDR. Toxicological profile for Lead (update). Atlanta, Georgia: Agency for Toxic Substances and Disease registry (ATSDR); 2005c. p. 1-577.

ATSDR. Toxicological profile for lead. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Centers for Disease Control and Prevention's; August 2007.

ATSDR. Toxicological profile for nickel. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Centers for Disease Control and Prevention's; August 2005.

Batuman V. Lead nephropaty, gout, and hypertension. *Am J Med Sci*. 1993; 305: 241-47.

Brown P. Qualitative methods in environmental health research. *Environ Health Perspect* 2003;111:1789-98.

Brown P, Clapp R. Looking back on Love Canal. *Public Health Rep* 2002;117: 95 - 98.

Carmouche JJ, Puzas H, Zhang X et al. Lead exposure inhibits fracture healing and is associated with increased chondrogenesis, delay in cartilage mineralization, and a decrease in osteoprogenitor frequency. *Environ Health Perspect*. 2005; 113: 749-55.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Consensus Report: Asbestos, asbestosis, and cancer: the Helsinki criteria for diagnosis and attribution (Scand. J. Work Environ. Health, 23,311-316,1997)

Costa M, Davidson TI, Chen H et al. Nickel Carcinogenesis: Epigenetics and Hypoxia Signaling. Mutat Res. 2005; 592: 79-88.

Craighead JE, Abraham JL, Churg A, Green FH, Kleinerman J, Pratt PC, Seemayer TA, Vallyathan V, Weill H. The pathology of asbestos-associated diseases of the lungs and pleural cavities: diagnostic criteria and proposed grading schema. Report of the Pneumoconiosis Committee of the College of American Pathologists and the National Institute for Occupational Safety and Health. Arch Pathol Lab Med, 106: 544-596, 1982

Decreto Legislativo 17 marzo 1995, n. 230. Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 2006/117/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti, 2009/71/Euratom in materia di sicurezza nucleare degli impianti nucleari e 2011/70/Euratom in materia di gestione sicura del combustibile esaurito e dei rifiuti radioattivi derivanti da attività civili.

Decreto Legislativo 26 maggio 2000, n. 241. Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti. (GU n.203 del 31-8-2000 - Suppl. Ordinario n. 140)

Decreto Legislativo 9 maggio 2001, n. 257. Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 26 maggio 2000, n. 241, recante attuazione della direttiva 96/29/Euratom in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti.

Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81. Testo coordinato con il D.Lgs. 3 agosto 2009, n. 106 TESTO UNICO SULLA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO. Attuazione dell'articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.

Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n.155. "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa"

Decreto Ministeriale 6 settembre 1994 . Normative e metodologie tecniche di applicazione dell'art. 6, comma 3, e dell'art. 12, comma 2, della legge 27 marzo 1992, n. 257, relativa alla cessazione dell'impiego dell'amianto. (GU Serie Generale n.220 del 20-9-1994 - Suppl. Ordinario n. 129)

D.P.C.M. 14 novembre 1997. Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore. Pubblicato nella Gazz. Uff. 1° dicembre 1997, n. 280.

European Environment Agency. Air quality in Europe — 2012 report. No 4/2012. Copenhagen 2012. ISBN 978-92-9213-328-3; ISSN 1725-9177; doi:10.2800/55823



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Engstrom K, Husman K, Riihimaki V. Percutaneous absorption of m-xylene in man. *Int Arch Occup Environ Health*. 1977; 39: 181-9.

European Protection Agency's 2007. Report on the Environment: Science Report.

Fenger J. 2003. Urban-scale air pollution. In: *Handbook of Atmospheric Science: Principles and Applications* (Hewitt C N, Jackson A V, eds.). Malden, USA: Blackwell Publishing. 399-438.

Friberg L, Elinder CG, Kjellstrom T, Nordberg GF (eds). *Cadmium and Health: A toxicological and Epidemiological Appraisal*. Boca Raton: CRC press: 1986. 1:1-307.

Goyer RA. Lead Toxicity: From overt to subclinical to subtle health effects. *Environ Health Perspect*. 1990; 86: 177-81.

Guinee et al., *Arch Pathol Lab Med*. 2008; 132:1149-1170

Henderson D.W. e coll: After Helsinki: a multidisciplinary review of the relationship between asbestos exposure and lung cancer, with emphasis on studies published during 1997-2004. *Pathology* 2004; 36:517-550

<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>. Last accessed: 22 June 2015.

IARC. IARC Monographs. Arsenic, Metals, Fibres, and Dust. A review of human carcinogens. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer (IARC); 2011. vol. 100c.

IARC. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Re-evaluation of some organic chemicals, hydrazine and hydrogen peroxide. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer (IARC); 1999. vol. 71.

IARC. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Some industrial chemicals. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer (IARC); 2000. vol. 77.

Il'yasova D, Schwartz GG. Cadmium and renal cancer. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2005; 207: 179-86.

ISPRA, Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. *Linee guida per la valutazione integrata di impatto ambientale e sanitario (VIAS) nelle procedure di autorizzazione ambientale (VAS, VIA, AIA)*. 22 Aprile 2015.

Karjalainen S, Kettula R, Pukkala E. Cancer risk among workers at a copper/nickel smelter and nickel refinery in Finland. *Int Arch Occup Environ Health*. 1992; 63: 547-51.

Kriegel AM, Soliman AS, Zhang Q et al. Serum Cadmium levels in pancreatic cancer patients from the East Nile Delta region of Egypt. *Environ Health Perspect*. 2006; 114: 113-19.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Letourneux M. Evaluation du risque de survenue de pathologies asbestosiques bénignes (relation dose-effet, relation temps-effet, co facteurs). *Rev Mal Resp*, 16: 1270-1277, 1999

Lijinsky W. The formation and occurrence of polynuclear aromatic hydrocarbons associated with food. *Mutation Research*. 1991; 259: 251-62.

Mersch-Sundermann V, Mochayedi S, Kevekordes S. Genotoxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons in *Escherichia coli* PQ37. *Mutation Research*. 1992; 278: 1-9.

Mergler D. Combining quantitative and qualitative approaches in occupational health for a better understanding of the impact of work-related disorders. *Scand J Work Environ Health* 1999;25(suppl4):54-60

Nylund K, Asplund L, Jansson B, Jonsson P, Litze'n K, Sellström U. Analysis of some polyhalogenated organic pollutants in sediment and sewage sludge. *Chemosphere*. 1992; 24: 1721-30.

NRC. Arsenic in drinking water (update). Washington DC: National Research Council (NRC), National Academy; 2001. p. 1-225 .

OSHA. Air contaminants. Occupational Safety and Health Administration (OSHA); 2005. Available from: <http://www.osha.gov/comp-links.html>.

Parkes WR. Occupational lung disorders. Stoneham: Butterworth & Heinemann, 1994, pp. 449-459

Pearce N. Commentary; The rise of corporate epidemiology and the narrowing of epidemiology's vision. *Int J Epidemiol* 2007;36(4):713-7

Phillips DL, Pirkle JL, Burse VW, Bernert Jr JT, Henderson LO, Needham LL, 1989. Chlorinated hydrocarbon levels in human serum: effects of fasting and feeding. *Arch Environ Contam Toxicol*. 1989; 18: 495-500.

Pira E, Romano C. Manuale di Medicina del Lavoro. Minerva Medica. In press.

Riihimaki V. Percutaneous absorption of m-xylene from a mixture of m-xylene and isobutyl alcohol in man. *Scand J Work Environ Health*. 1979; 5:143-50.

Rosenstock L e Cullen MR. Textbook of Clinical and Environmental Medicine. Philadelphia: WB Saunders Co, 2005, p. 735

Russi MB, Cone JE. Malignancies of the respiratory tract and pleura. In: Rosenstock L e Cullen MR. Textbook of Clinical and Environmental Medicine. Philadelphia: WB Saunders Co, 1994, pp. 543-555

Satarug S, Moore MR, Adverse health effects of chronic exposure to low level cadmium in foodstuffs and cigarette smoke, *Environ Health Perspect*. 2004; 112: 1099-1103.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA SANITA' PUBBLICA E PEDIATRICHE
Direttore Prof. ssa Annamaria Cuffini

Scansetti G, Piolatto PG, Pira E. Il rischio da amianto oggi. Regione Piemonte e Università degli Studi di Torino Editori, 1985

Schwartz GG, Reis IM. Is cadmium a cause of human pancreatic cancer? *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 2000; 9: 139-45.

Selikoff. *Asbestos and Disease.* 1978

Serra G. Valori di riferimento ambientali e biologici degli idrocarburi policiclici aromatici. *G Ital Med Lav Erg.* 2003; 25: 83-93.

Sims RC, Overcash MR. Fate of polynuclear aromatic compounds (PNAs) in soil-plant systems. *Residue Reviews.* 1983; 88: 1-68.

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. *Qualità dell'ambiente urbano. XII Rapporto. Edizione 2016. Focus su inquinamento atmosferico nelle aree urbane ed effetti sulla salute.* ISPRA, 2016.

Uchida Y, Nakatsuka H, Ukai H, Watanabe T, Liu YT, Huang MY. Symptoms and signs in workers exposed predominantly to xylene. *Int Arch Occup Environ Health.* 1993;64: 597-605.

USEPA. *Supplemental guidance for assessing susceptibility from early-life exposure to carcinogens.* US EPA, 2005.

WHO. Ethylbenzene. Environmental Health Criteria 186. Geneva, CH: World Health Organization (WHO); 1996.

WHO Europe. Air Quality Guidelines. Global Update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Germany 2006. ISBN 92 890 2192 6

WHO Regional Office for Europe. *Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide.* WHO, 2013.

WHO Regional Office for Europe. *WHO Expert Meeting: Methods and tools for assessing the health risks of air pollution at local, national and international level. Meeting report.* Bonn, Germany, 12-13 May 2014.

Zalpus RK, Ahmad S. Molecular handling of cadmium in transporting epithelia. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2003; 186: 163-88