

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA

DOTTORATO DI RICERCA IN "GEOGRAFIA"

XXII CICLO

AMBIENTE E SALUTE:
IL RISCHIO SANITARIO IN ALCUNE AREE
DELLA SICILIA
AD ELEVATA PRESSIONE AMBIENTALE

DOTTORANDO:

VALERIA VELARDITA

COORDINATORE:

CH.MO PROF. N. FAMOSO

TUTOR:

CH.MO PROF. V. RUGGIERO

INTRODUZIONE	6
1.1 L'ERA DELLA ECOEPIDEMIOLOGIA	9
1.2 L'AMBIENTE: DETERMINANTE DI SALUTE	13
1.3 RELAZIONE AMBIENTE-SALUTE IN UNA PROSPETTIVA MONDIALE ED EUROPEA.....	16
 2 EPIDEMIOLOGIA PER LA LETTURA DEL TERRITORIO E PER LA VALUTAZIONE DELLO STATO DI SALUTE DELLE POPOLAZIONI.....	20
2.1 PROBLEMI METODOLOGICI NEGLI STUDI SU AMBIENTE E SALUTE	20
2.1.1 La descrizione geografica degli eventi di salute	21
2.1.2 La valutazione causale.....	22

2.2	ALCUNI STRUMENTI METODOLOGICI NEGLI STUDI SULLA RELAZIONE TRA AMBIENTE E SALUTE.....	25
2.2.1	I sistemi informativi geografici	25
2.2.2	Esempi di applicazione dei GIS nell'ambito sanitario	31
2.3	VALUTAZIONE DI IMPATTO SANITARIO (V.I.S.)	35
2.3.1	Metodologia della VIS	38
3	ANALISI DEL RISCHIO	44
3.1	FASI DELL'ANALISI.....	44
3.2	ANALISI DEL RISCHIO IN SITI INQUINATI	47
3.2.1	La metodologia RBCA.....	48
3.2.2	I software applicativi	52
4	SORVEGLIANZA AMBIENTE E SALUTE.....	54
4.1	PROBLEMI METODOLOGICI.....	54
4.1.1	Indicatori ambiente-salute	61
4.2	BIOMONITORAGGIO	68

Tesi di Dottorato in Geografia di V. Velardita

5	SITI INQUINATI.....	75
5.1	NORMATIVA	75
5.2	SITI INQUINATI IN SICILIA	82
5.3	L'AREA INDUSTRIALE DI GELA (CL).....	87
5.4	L'AREA INDUSTRIALE DI AUGUSTA - PRIOLO - MELILLI (SR)	92
5.5	L'AREA INDUSTRIALE DI MILAZZO (ME) E DELLA VALLE DEL MELA.....	97
6	EVIDENZE EPIDEMIOLOGICHE DI RISCHIO CANCEROGENO IN PROSSIMITA' DI POLI INDUSTRIALI	103
6.1	STUDI EPIDEMIOLOGICI REALIZZATI IN SICILIA	106
7	MORTALITA' IN PROVINCIA DI MESSINA: UNO STUDIO GEOGRAFICO.....	110
7.1	METODI	112
7.2	RISULTATI	114
7.3	DISCUSSIONE E CONCLUSIONI.....	116

8	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	126
	BIBLIOGRAFIA.....	134
	APPENDICE: 10 FACTS ON PREVENTING DISEASE THROUGH HEALTHY ENVIRONMENTS.....	139

INTRODUZIONE

Oggetto di questa tesi è una disamina di temi inerenti il rapporto tra ambiente e salute, privilegiando nell'analisi la prospettiva epidemiologica e i problemi metodologici nella ricerca del nesso tra esposizione ambientale ed effetti sulla salute. Si tratta di un tema rilevante, che attiene alla salute sia individuale che pubblica e che ormai domina l'agenda politica, oltre che sociale e culturale, a livello mondiale. Infatti la domanda di qualità ambientale e sanitaria è in continua crescita, così come la percezione che ambiente e salute siano beni pubblici indisponibili. Infatti l'OMS si è posta tra i suoi obiettivi prioritari la comprensione delle relazioni tra le fonti di inquinamento e gli effetti sulla salute, lo sviluppo di indicatori e la prevenzione delle malattie legate a un ambiente insalubre, che rappresentano una causa di mortalità e di morbosità sorprendentemente elevata, specie nei Paesi poveri. Eppure sono ancora in aumento le aree sottoposte a elevate pressioni ambientali, in cui la domanda di un rapporto ottimale tra salute e ambiente non è soddisfatto. E' quindi di grande interesse lo studio epidemiologico dei determinanti di salute e della loro distribuzione spaziale e temporale; inoltre è ormai un dato consolidato che i determinanti di salute siano fattori sociali, culturali, quindi ambientali in

senso lato, che interagiscono con il livello individuale, costituito dal patrimonio genetico.

Nella seconda parte della tesi si effettua un'analisi delle aree siciliane giudicate “di interesse nazionale” per l'entità del danno ambientale e pertanto sottoposte al vincolo di bonifiche e ripristino ambientale. La maggior parte di queste aree presenta fenomeni di contaminazione ambientale associati ad attività industriali e a smaltimento incontrollato di rifiuti; spesso risultano situate a ridosso di insediamenti urbani ad elevata densità abitativa e/o con zone ad elevato interesse socio-culturale e ambientale. Valutare se, e in che grado, il danno ambientale nei siti inquinati si traduca in esposizioni rilevanti per la salute umana e quali valori scegliere come “rilevanti”, rappresentano due aspetti chiave a cui fare riferimento per identificare priorità di intervento che abbiano ricadute in termini di riduzione dell'impatto sanitario delle contaminazioni ambientali.

La terza parte della tesi propone uno studio epidemiologico sulla mortalità in provincia di Messina, con particolare attenzione all'area industriale di Milazzo.

Parte I

AMBIENTE E SALUTE: STATO DELLE CONOSCENZE, PROBLEMI METODOLOGICI E PROSPETTIVE DI STUDIO

INTERAZIONE AMBIENTE-SALUTE

1.1 L'ERA DELLA ECOEPIDEMIOLOGIA

Negli ultimi decenni l'epistemologia del concetto di causa in medicina è cambiata, con l'evoluzione dalle malattie infettive monocausali a quelle cronico-degenerative multifattoriali; il concetto di causa è quindi passato da un approccio deterministico (la causa come condizione necessaria e sufficiente del postulato di Koch) a uno probabilistico, dove non sempre la causa produce l'effetto e non sempre in occasione dell'effetto è presente quella causa. Alla ricerca dell'"eziologia" si è dunque sostituita in medicina negli ultimi decenni la ricerca dei "fattori di rischio", fattori comportamentali, ambientali, caratteristiche ereditarie o acquisite riconosciute associate a malattie o comunque a condizioni negative e dunque da prevenire, benché tale associazione non sia direttamente causale. Negli ultimi anni tuttavia anche la scienza dei fattori di rischio è stata sottoposta a varie critiche, soprattutto per aver prodotto solo una moltitudine di stime di rischi associati a varie condizioni, senza adeguata attenzione verso proposte operative in sanità pubblica in termini di prevenzione, pianificazione degli interventi e organizzazione dei servizi.

Inoltre profili e stime previsionali del rischio spesso esitano in modelli troppo semplici per rappresentare la complessità delle tante variabili in gioco ed è possibile che un individuo possa identificare il fattore di rischio con la malattia, con un conseguente duplice pericolo: da una parte la creazione di un'aspettativa irrealistica che il controllo dei fattori di rischio equivalga al controllo della malattia e dall'altra il manifestarsi di indifferenza rispetto ai determinanti sociali della malattia e dunque verso le politiche preventive a livello di comunità.

Andrebbe comunque sottolineato che sarebbe un errore sia estendere i risultati degli studi individuali alle popolazioni sia inferire dagli studi di popolazione conseguenze per la salute individuale. Gli individui infatti vanno considerati come dei sistemi complessi, in cui cambiamenti anche piccoli possono esitare in modifiche rilevanti per la salute, in un contesto di causalità multipla.

Occorre dunque attuare una prospettiva “integrata” che contempli i vari livelli: molecolare, individuale, collettivo e di popolazione. Questa prospettiva è stata denominata da M. Susser ed E. Susser

“Ecoepidemiologica”¹; oggetto dello studio sono le diverse dimensioni- culturale, sociale, economica, occupazionale- che concorrono a definire le condizioni di salute. Entrambi questi studiosi ricostruiscono l’evoluzione dell’epidemiologia, individuando quattro ere, dominate da altrettanti paradigmi: la prima è quella del miasma e della statistica sanitaria, in voga fino alla prima metà del XIX secolo; la seconda era è quella delle malattie infettive, in cui vige il paradigma della teoria del germe; la terza era è quella delle malattie croniche, il cui paradigma è quello della black box, che analizza i dati in entrata, cioè i fattori di rischio e i dati in uscita, cioè le malattie, ignorando i meccanismi intermedi, collocati metaforicamente nella scatola nera. La quarta era è quella attuale della eco-epidemiologia, il cui paradigma, in riferimento allusivo e critico al periodo precedente, è detto delle scatole cinesi, perché incentrato sulle relazioni tra strutture molteplici appartenenti a dimensioni diverse in una prospettiva di integrazione: “l’attenzione ai fattori di rischio, finora dominante, non sarà

1 Susser M, Susser E. Choosing a future for epidemiology: II. From black Box to Chinese Boxes and Eco-epidemiology. *Am J Public Health* 1996;86:674-7.

Susser M. Does risk factor epidemiology put epidemiology at risk? Peering into the future. *J Epidemiol Community Health* 1998;52:608-11.

più sufficiente; è necessario cimentarsi sia con modelli causali a livello sociale che con la patogenesi e la etiologia a livello molecolare”.

Interessante è anche il pensiero di Pearce ², il quale sostiene che l’analisi sulle cause delle malattie deve integrare i livelli individuale-biologico e di popolazione, senza far collassare l’uno sull’altro. A tal fine, secondo Pearce, l’approccio più idoneo non è quello *bottom-up*, che parte dal livello più basso di aggregazione, quello molecolare. È invece più efficace l’approccio *topdown*, che inizi con l’accertamento dei principali fattori che influenzano lo stato di salute nella popolazione e sposti l’attenzione sulle strutture sociali e sui processi maggiormente aggredibili.

Date le conoscenze attuali, è chiaro che va considerata l’interrelazione tra cause e non un’unica causa delle malattie: se si considerano i trials clinici come golden standard degli studi epidemiologici, controllando per ogni possibile altro fattore diverso da quello specifico di interesse, si rischia di eliminare tutte le altre cause e di perdere la multifattorialità del processo causale.

2 Pearce N. Traditional epidemiology, modern epidemiology, and public health. Am J Public Health 1996;86:678-83.

L'ecopidemiologia risponde all'esigenza di una prospettiva multifattoriale della causalità e dell'integrazione dei diversi livelli di analisi negli studi, estendendosi da una parte fino a superare i tradizionali confini disciplinari e dall'altra spingendosi in profondità per indagare il livello molecolare.

1.2 L'AMBIENTE: DETERMINANTE DI SALUTE

E' ormai consolidata nella comunità scientifica la nozione che i principali determinanti della salute non siano i fattori genetici, ma i fattori socio-economici, ambientali, stile di vita e accesso ai servizi. E' quindi particolarmente importante agire su di essi, anche perché si tratta di fattori modificabili (tabella 1)

Tabella 1 - Categorie di determinanti della Salute di una Comunità

Non modificabili	Socio-economici	Ambientali	Stili di vita	Accesso ai servizi
Genetica Sesso Età	Povertà Occupazione Esclusione sociale	Aria Acqua e alimenti Abitato Ambiente sociale e culturale	Alimentazione Attività fisica Fumo Alcol Attività sessuale Farmaci	Istruzione Tipo di sistema sanitario Servizi sociali Trasporti Attività ricreative

La Fig.1 (da *Dahlgren e Whitehead*³) descrive i determinanti della salute come una serie di emicerchi concentrici, che partono da una periferia, costituita dai fattori ambientali in senso lato, per arrivare a quel nucleo specifico che costituisce il patrimonio genetico di ogni individuo. L'emicerchio più esterno, quello che abbraccia tutti gli altri, condizionandone forma e dimensione, è costituito dalle “condizioni generali socio-economiche, culturali e ambientali”, che diventano così il *primum movens* di una lunga serie causale che giunge fino all'individuo, determinandone salute e malattia;

3 Dahlgren G., M. Whitehead, *Policies and strategies to promote equity in health*, WHO, 1992

Fig 1 mod. da Dahlgren e Whitehead



1.3 RELAZIONE AMBIENTE-SALUTE IN UNA PROSPETTIVA MONDIALE ED EUROPEA

Come sostenuto dall'OMS, i fattori ambientali giocano globalmente un ruolo importante in oltre l'80% delle malattie; più di un quarto di tutti i decessi sono addebitabili all'ambiente; il peso è ancora maggiore in età infantile.

Trattandosi di fattori in buona parte modificabili, la politica dovrebbe prendere coscienza di tutto ciò e promuovere iniziative per rendere l'ambiente più salutare. Tali iniziative, secondo stime OMS, potrebbero evitare ogni anno ben 13 milioni morti ⁴⁵. Per sottolineare l'impatto dell'ambiente sulla salute e stigmatizzare le disuguaglianze tra Paesi ricchi

4 "Environmental risk factors play a role in more than 80% of the diseases regularly reported by the World Health Organization. Globally, nearly one quarter of all deaths and of the total disease burden can be attributed to the environment. In children, however, environmental risk factors can account for slightly more than one-third of the disease burden. These findings have important policy implications, because the environmental risk factors that were studied largely can be modified by established, cost-effective interventions. The interventions promote equity by benefiting everyone in the society, while addressing the needs of those most at risk". Preventing disease through healthy environments: Towards an estimate of the environmental burden of disease. WHO

5 WHO: Country profiles of the environmental burden of disease. Vienna 2007

e Paesi poveri l’OMS ha elaborato un decalogo sui rapporti tra ambiente e salute (vedi appendice).

In Italia ogni anno su 1000 persone si perde una quota pari a 15 anni di vita in buona salute (DALY, Disability Adjusted Life Years, cioè somma degli anni di vita persi a causa di una morte prematura e degli anni di produttività persi a causa di una disabilità) e la percentuale del carico delle malattie attribuibili a cause ambientali è del 13%, per un totale di quasi 90.000 morti all’anno, di cui circa 8.000 attribuibili all’inquinamento atmosferico.

In Europa il trattato di Lisbona ha adottato una dichiarazione relativa alla Carta dei diritti fondamentali dell’Unione Europea in cui è stabilito che:

“Ogni individuo ha il diritto di accedere alla prevenzione sanitaria e di ottenere cure mediche alle condizioni stabilite dalle legislazioni e prassi nazionali. Nella definizione e nell’attuazione di tutte politiche ed attività dell’Unione è garantito un livello elevato di protezione della salute umana (art. 35).

L’Unione Europea si è posta la tutela dell’ambiente e della salute come obiettivi prioritari, traducendoli in una strategia fissata nel Libro

Bianco dal titolo “Insieme per la salute: un approccio strategico per l’UE 2008-2013”, i cui capisaldi sono:

1. una strategia basata su valori in salute condivisi, quali l’universalità, l’accesso alle cure, la solidarietà e l’equità, cioè la riduzione delle disuguaglianze in salute.

2. la salute è la più grande delle ricchezze sia per gli individui che per la società, ed inoltre una popolazione sana è prerequisito per la produttività economica e la prosperità. Nel 2005 infatti il numero degli anni vissuti in buona salute (HLY) è stato incluso come indicatore strutturale di Lisbona, per sottolineare che l’aspettativa di vita della popolazione in buona salute e non solo la durata della vita, è un fattore di crescita economica;

3. la salute in tutte le politiche, che significa responsabilizzazione sugli impatti sulla salute delle scelte politiche.

E’ quindi di grande interesse poter favorire l’integrazione tra politiche di promozione della salute con quelle della sostenibilità ambientale; risulta chiaro inoltre che solo un approccio interistituzionale e intersettoriale può garantire l’attuazione di iniziative, progetti e politiche di

promozione della salute capaci di incidere efficacemente sui fattori determinanti della salute.

Tuttavia alla domanda di salute sempre più diffusa tra la popolazione il sistema risponde soprattutto con un aumento di prestazioni tecnologicamente sofisticate e costose, nel tentativo di modificare "la malattia", che indica già "salute perduta", preoccupandosi poco di prevenzione.

2 Epidemiologia per la lettura del territorio e per la valutazione dello stato di salute delle popolazioni

2.1 PROBLEMI METODOLOGICI NEGLI STUDI SU AMBIENTE E SALUTE

In generale, nello studio delle relazioni tra condizioni di salute e fattori ambientali le due situazioni estreme sono rappresentate da un lato dalla semplice descrizione della distribuzione geografica di una specifica tipologia di eventi sanitari, a fini di documentazione o di generazione di ipotesi e, dall'altro, dalla valutazione del rapporto causale tra specifica fonte di inquinamento ed effetti sulla salute.

Accanto a questi tipi di approccio, di natura tipicamente epidemiologica, vi sono indicatori e criteri messi a punto originariamente per la valutazione dei processi di Pianificazione territoriale.

2.1.1 La descrizione geografica degli eventi di salute

La descrizione della distribuzione spaziale di un evento sanitario può essere il primo passo per la comprensione dei suoi rapporti con i fattori ambientali.

Un importante strumento in tale ambito è rappresentata dagli Atlanti (es.: Atlante di mortalità, di incidenza dei tumori, ecc.), che, attraverso la semplice rappresentazione geografica del fenomeno in studio, ne illustrano la struttura spaziale. Di norma la massima risoluzione degli Atlanti di mortalità o di patologia è rappresentata dai confini amministrativi comunali e il loro utilizzo è, appunto, finalizzato alla descrizione della distribuzione geografica, consentendo confronti tra territori diversi e, se l'Atlante è anche storico, tra periodi diversi, al fine eventualmente di generare ipotesi di studio per approfondimenti ulteriori. Il primo, ovvio, approfondimento è costituito dal confronto con le mappe delle “pressioni ambientali” prodotte dal Sistema Informativo Ambientale, per cogliere suggestioni di correlazioni tra la distribuzione spaziale di queste e degli eventi sanitari che ne costituiscono i possibili effetti.

2.1.2 La valutazione causale

La verifica di un nesso causale tra un fenomeno ambientale e i possibili effetti sulla salute rappresenta la richiesta più frequentemente posta da amministratori e cittadini ed è l'obiettivo di molte ricerche di epidemiologia ambientale.

Da un punto di vista tecnico, l'approccio è differente se la fonte di inquinamento è ben identificabile (fonte puntiforme o lineare, come nel caso rispettivamente di un insediamento industriale o di una strada di grande traffico) oppure se il fenomeno è diffuso e riguarda in modo sufficientemente omogeneo l'intera collettività in studio.

Nel primo caso sono raccolti gli eventi sanitari correlabili alla fonte inquinante, accaduti nella zona circostante la fonte fino a una distanza variabile, compatibile con la distanza massima della ricaduta degli inquinanti, misurata o stimata. Gli eventi vengono quindi georeferenziati e se ne studia l'occorrenza in relazione alla distanza dalla fonte, assumendo quindi la distanza come indicatore dell'intensità dell'esposizione. Il confronto con i dati ambientali è indispensabile sia per la individuazione dell'area da indagare sia per la caratterizzazione quali-quantitativa degli inquinanti emessi.

Nel secondo caso invece si segue un approccio epidemiologico diverso, la cui tipologia dipende dal tipo di relazione che si vuole evidenziare e dai dati disponibili. Esempio di uno studio sulle relazioni tra inquinamento atmosferico ed eventi sanitari correlabili è lo studio *Misa 2*, concernente la relazione tra incrementi di singoli inquinanti e mortalità o ricoveri ospedalieri nelle principali città italiane.⁶ In questo caso i dati ambientali costituiscono la variabile indipendente su cui si modula la stima di rischio.

L'attribuzione di un nesso di causalità in seguito ai risultati di uno studio epidemiologico è sempre complessa. Fin dal 1965 Bradford Hill⁷ propone un elenco di criteri che devono essere soddisfatti per il riconoscimento del rapporto di causalità tra gli eventi indagati, a cui tuttora occorre attenersi e di cui i requisiti principali sono: coerenza con altri studi, forza dell'associazione, rispetto della sequenza temporale, presenza di una relazione dose-risposta, plausibilità biologica. Il primo criterio, in

6 Biggeri A, Bellini P, Terracini B. Metanalisi italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico 1996–2002. *Epidemiol Prev* 2004;28(Suppl 4-5):1-100.

7 Principi di Bradford-Hill: Strength of the association; Consistency; Specificity; Temporal coherence; Biological gradient; Plausibility; Coherence; Experimental evidence; analogy

particolare (coerenza con altri studi), implica che i risultati di uno studio siano confermati da quelli di altri studi, condotti su popolazioni diverse da diversi ricercatori, possibilmente con metodi tra loro differenti. Un unico studio non è quindi mai conclusivo dal punto di vista dell'attribuzione eziologica.

Accanto alla necessità, comune a tutti gli studi epidemiologici, di soddisfare i criteri appena elencati, una difficoltà degli studi di epidemiologia ambientale è costituita anche dalla mancanza, spesso verificata, di informazioni sulle caratteristiche individuali dei soggetti studiati, alcune delle quali rappresentano a loro volta fattori di rischio per il fenomeno di salute indagato (condizione socio-economica, storia professionale, stili di vita).

A ciò si può parzialmente ovviare utilizzando le informazioni “medie” sulla popolazione in studio, riferite all'ambito amministrativo di maggior dettaglio su cui sono reperibili (sezione di censimento, circoscrizione) e avvalendosi di un indice di deprivazione socio-economica.

Il riconoscimento dei fattori ambientali come determinanti di salute impone di valutare lo stato di salute delle popolazioni non solo con strumenti tradizionali come i dati di mortalità e morbosità, ma anche

tramite indicatori di benessere/malessere, generalmente riconosciuti come espressione di qualità della vita.

2.2 ALCUNI STRUMENTI METODOLOGICI NEGLI STUDI SULLA RELAZIONE TRA AMBIENTE E SALUTE

2.2.1 I sistemi informativi geografici

Tra l'80 e il 90% dell'informazione gestita all'interno dei flussi informativi esistenti possiede una componente spaziale, è dotata cioè delle caratteristiche proprie di localizzazione univoca all'interno di uno spazio geografico, il che rende possibile la visualizzazione dei fenomeni di interesse sanitario che si svolgono all'interno di un territorio attraverso mappe che ne rendono estremamente esemplificata la lettura e l'interpretazione. La tecnologia ha conosciuto nell'ultimo decennio una rapida evoluzione di strumenti che analizzano i dati in funzione della geografia. L'attuale progresso tecnologico dei sistemi di telerilevamento, la disponibilità di cartografie digitalizzate, la nascita di nuovi linguaggi informatici, la diffusione delle reti a banda larga, consentono attualmente una maggiore accessibilità e un utilizzo esteso dei sistemi informativi geografici.

La tecnologia GIS gestisce cartografie digitali e basi dati informatiche ed organizza e archivia ampie quantità di informazioni per una pluralità di scopi; un GIS aggiunge la dimensione dell'analisi geografica alla tecnologia informatica, attraverso un'interfaccia tra i dati e la cartografia. Ciò rende agevole presentare informazioni ai decisori in modo rapido, efficiente ed efficace. L'organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha mostrato interesse verso i sistemi informativi geografici (GIS) ⁸.

Un GIS è costituito dall'insieme degli strumenti hardware e software utilizzati nella trattazione dell'informazione geografica; il termine può riferirsi anche a un particolare software finalizzato alla gestione dell'informazione e delle sue caratteristiche geografiche o ad applicazione generica come il database geografico di una regione, una provincia, etc. L'espressione è infine utilizzata per descrivere gli studi concernenti i metodi, gli algoritmi, le procedure per il trattamento di dati geografici. Diverse discipline hanno contribuito alla nascita della "GIS Science": la tradizione cartografica ha concorso con l'istituzione delle regole e degli strumenti per la rappresentazione delle caratteristiche del mondo reale; le

⁸ http://www.who.int/health_mapping/gisandphm/en/index.html GIS and public health mapping

scienze informatiche forniscono il contesto per l'archiviazione e la gestione dell'informazione geografica e, insieme alla matematica, contribuiscono alla definizione degli strumenti per la rielaborazione degli oggetti geometrici che rappresentano le caratteristiche geografiche del mondo reale; le scienze naturali e sociali integrano le proprie conoscenze a quelle geografiche per ottenere nuove e più suggestive descrizioni della realtà e modelli per l'interpretazione dei fenomeni.

Un GIS richiede un insieme organizzato di regole, di risorse umane e strumentali che, interagendo dinamicamente, consentono le diverse funzioni di raccolta, archiviazione, gestione, recupero, conversione, analisi dei dati, nonché modellizzazione, visualizzazione e comunicazione di informazioni che hanno una specifica connotazione geografica. Caratteristica dei GIS è quella di integrare i dati provenienti da una molteplicità di fonti; i dati possono variare nel formato, nel tipo e nella struttura e possono essere generalmente riassunti in due categorie: dati di tipo spaziale (in formato vettoriale e raster ⁹) e attributi.

⁹ Dati in formato vettoriale: gli oggetti sono memorizzati in base alle coordinate cartesiane (x, y) dei punti e linee che li compongono. Dati in formato raster: gli oggetti sono descritti come immagini formate da insiemi di piccole aree uguali (pixel) ordinati secondo righe e colonne che costituiscono una matrice

I dati di tipo spaziale o dati grafici o oggetti geografici corrispondono a poligoni, linee, punti, pixel, simboli e annotazioni. Per esempio, sono oggetti geografici la delimitazione di una provincia, l'orografia di un territorio, il reticolo stradale. Gli attributi corrispondono invece alle caratteristiche degli oggetti geografici quali la distribuzione della popolazione, delle malattie, degli utenti di un servizio.

La geocodificazione (*geocoding*) o georeferenziazione è il processo con cui il GIS associa un riferimento geografico univoco a un oggetto, posizionandolo univocamente in una mappa, in modo esplicito attraverso coordinate (x, y) o in modo implicito, attraverso, per esempio, l'indirizzo, il codice postale, etc. Un aspetto peculiare e estremamente versatile dei GIS è dato dalla possibilità di sovrapporre strati o livelli informativi (*layers*), ciascuno dei quali descrive una categoria di informazioni (per esempio: strade, posizione di ospedali e centri sanitari, morbosità, mortalità); tale processo consente lo svolgimento di diversi tipi di analisi e la 'costruzione' di mappe digitali.

L'importanza crescente dei GIS ha trovato grande sviluppo anche in ambito sanitario, sia nella ricerca sia in applicazioni sul campo. A testimonianza di tale crescente interesse si possono citare l'introduzione del

termine 'Geographic Information Systems' nel vocabolario MeSH della US National Library of Medicine, a partire dall'anno 2003, e la nascita di riviste specializzate nella 'medical geography' e nella 'geography of health', quali *International Journal of Health Geographics* e *Health and Place*. Il CDC di Atlanta dedica un report periodico al 'Public Health GIS News and Information'.

Schematizzando le moltissime applicazioni possibili, si individuano alcuni capisaldi dell'analisi geografica applicata alla salute: l'analisi della popolazione e dei bisogni di salute, l'analisi dei fattori di rischio ambientali e l'analisi dell'offerta sanitaria, in termini di collocazione e attività delle strutture e dei servizi sanitari.

Circa l'analisi dei bisogni di salute, i GIS possono fornire elementi per:

- documentare la frequenza e la distribuzione dei fenomeni di salute/malattia;
- conoscere i bisogni sanitari nella loro genesi, dinamica e distribuzione;

- individuare i possibili fattori determinanti la distribuzione dei fenomeni/malattia;

- identificare le ‘aree problematiche’, cioè quei fenomeni sanitari, quelle aree geografiche o quelle condizioni organizzative dei servizi che, in relazione alla loro rilevanza epidemiologica, richiedono un intervento prioritario.

Risulta chiaro, quindi, come la rilevazione di bisogni di salute deve valicare i tradizionali confini dell’epidemiologia, analizzando gli aspetti sociali, economici, culturali del bacino di utenza servito, nonché le caratteristiche naturali e antropiche dell’ambiente fisico. Così facendo, la valutazione epidemiologica ‘ri’costruisce lo scenario in cui vengono identificati i fattori di rischio per la salute collettiva (setting ambientale, lavoro, problemi legati alla circolazione stradale, etc.) e individuale (alimentazione, tempo libero, uso di sostanze, stile di vita incongruo, etc.). Più in generale, i GIS possono contribuire a diversi compiti propri della Sanità Pubblica¹⁰, inerenti tanto l’assistenza quanto la prevenzione, la sorveglianza e il controllo, quali:

¹⁰ Fortino, Gandura Sistemi informativi geografici: le prospettive in sanità pubblica. Careonline 2006

- conoscenza della distribuzione dell'incidenza o della prevalenza di malattie o fattori di rischio e modelli ambientali (per esempio: tumori, malattie respiratorie, malattie infettive);
- pianificazione e valutazione dei servizi sanitari (accessibilità, localizzazione, qualità/appropriatezza, equità, etc.);
- epidemiologia di eventi catastrofici (naturali o indotti dall'uomo);
- misure di salute delle popolazioni;
- sistemi di sorveglianza di malattie (per esempio, malattie virali).

2.2.2 Esempi di applicazione dei GIS nell'ambito sanitario

2.2.2.1 Analisi per poligoni

- Distribuzione della morbosità (incidenza, prevalenza) e della mortalità espressi sia come numeri assoluti sia come tassi grezzi e standardizzati.
- Distribuzione dei determinanti socioeconomici dello stato di salute (reddito, livello culturale, etc.).
- Distribuzione dei determinanti ambientali dello stato di salute:

naturali (orografia, direzione dei venti, corsi d'acqua, insediamenti animali, sorgenti di radiazioni naturali, etc.)

e antropici (insediamenti produttivi, sistema fognario, discariche, poli industriali, depuratori, sorgenti di radiazioni artificiali, etc.).

2.2.2.2 Analisi per punti

- Localizzazione di singoli casi o di focolai epidemici di malattia a diffusione umana o animale-uomo (zoonosi); localizzazione di eventi sentinella.
- Collocazione sul territorio dei centri sanitari.

2.2.2.3 Analisi per linee

- Linee di propagazione e diffusione delle malattie.
- Linee di attività di centri sanitari (trasporti di emergenza, piani di emergenza) o di singoli operatori sanitari (addetti all'assistenza domiciliare, addetti alla vigilanza, etc.).

2.2.2.4 Analisi poligoni-punti e punti-linee

- Bacino di utenza reale dei centri sanitari.
- Distribuzione dei centri sanitari in rapporto a specifici bisogni della popolazione (consultori familiari in rapporto alla popolazione materno-infantile, centri diurni in rapporto alla popolazione anziani, etc.).

- Connessione funzionale (modelli hub and spokes) tra vari centri sanitari con punti di elevata specializzazione (neurochirurgie, cardiologie interventistiche e cardiocirurgie, unità spinali, etc.).

Dal 1993 il programma dell'OMS dedicato al Public Health Mapping and GIS (http://www.who.int/health_mapping/en/) ha guidato la promozione e realizzazione di GIS finalizzati al decision-making sia nel settore delle malattie infettive (<http://globalatlas.who.int/globalatlas/interactivemap/rmm/>) sia in altri programmi di Sanità Pubblica. Il programma inglese MAIGIS (Multi-Agency Internet Geographic Information Service), pubblicato sul sito <http://maigis.wmpho.org.uk/>, è un progetto per la realizzazione di mappe interattive che forniscono dati sulla salute e sui sistemi sanitari a livello regionale, costituito dal West Midlands. In MAIGIS sono analizzati tre tipi di indicatori: di salute (tumori, malattie ischemiche cardiache, malattie trasmissibili, incidenti, stili di vita, ricoveri, etc.); socioeconomici (indici di deprivazione, qualità delle abitazioni, dati sui crimini, etc.) e indicatori ambientali (qualità dell'aria, dell'acqua, siti inquinati, etc.).

Negli USA il National Cancer Institute pubblica The Cancer Mortality Maps & Graph Web Site (<http://www3.cancer.gov/atlasplus/>), su

cui si ottengono mappe interattive che mostrano i pattern geografici e le tendenze nel tempo dei tassi di mortalità per più di 40 tipi di tumori negli anni 1950-1994. Il National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion pubblica analisi geografiche di dati riguardanti le malattie cardiache e lo stroke.

Il maggior esempio di GIS è costituito dallo HRSA Geospatial Datawarehouse (<http://datawarehouse.hrsa.gov/>), realizzato dall'amministrazione sanitaria federale statunitense (Health Resource and Services Administration); esso consente un'analisi geografica molto dettagliata fino a aree corrispondenti ad un codice postale con un map tool che localizza i programmi dell'HRSA, le risorse sanitarie, le caratteristiche demografiche e alcune caratteristiche del territorio (autostrade, fiumi).

Per quanto riguarda l'Italia, si segnala la possibilità di costruire mappe con i dati del programma Health for All dell'ISTAT (<http://www.istat.it/sanita/Health/>), di livello provinciale e regionale; di un certo interesse anche l'Atlante lombardo dei ricoveri (<http://www.aleeao.it/>) che permette di eseguire elaborazioni statistiche personalizzate per periodo, area geografica, patologia, ospedale, di livello

comunale. Un Atlante nazionale dei ricoveri è stato realizzato dal Ministero della salute (<http://www.salute.gov.it>).

In definitiva i GIS offrono la capacità di integrare dati di diverse fonti e produrre visualizzazioni (mappe) utili alla decisione e alla soluzione di problemi di Sanità Pubblica. Esso permette di rispondere alle domande circa il dove avvengono i fenomeni che hanno rilevanza spaziale e il cosa si trovi in un determinato luogo; i sistemi più complessi consentono inoltre di rispondere spesso anche al perché proprio in quel luogo, definendo modelli di previsione della distribuzione di uno o più fenomeni in un determinato territorio.

2.3 VALUTAZIONE DI IMPATTO SANITARIO (V.I.S.)

La Valutazione di Impatto Ambientale (VIA), introdotta in Europa con la Direttiva 85/337/CEE), contemplava già una valutazione dei potenziali effetti sanitari dei progetti. Negli anni '80 si afferma la necessità di disporre di uno strumento specifico per lo studio dei rischi per la salute. Nasce così la valutazione di impatto sanitario (VIS)-health impact assessment, HIA. Tale approccio metodologico rispetto alla VIA sposta

l'attenzione dai fattori di rischio verso i determinanti della salute: la VIA si applica infatti a progettazione avvenuta, mentre la VIS si applica più a monte, già in fase di progettazione e di scelte di politica territoriale, al fine di favorire scelte politiche complessivamente più salutari. Più propriamente, per quanto riguarda gli impatti ambientali si parla di valutazione di impatto ambientale-sanitario (VIAS)-environmental health impact assessment (EHIA)- il cui scopo è di predire e valutare gli impatti di una certa attività sui determinanti ambientali della salute.

La definizione di VIS più accettata è quella cosiddetta di Goteborg - risultato di una consultazione promossa dall'OMS-: "Una combinazione di procedure, metodi e strumenti con cui è possibile valutare una politica, un programma o piano di sviluppo, circa i possibili effetti sulla salute pubblica e la distribuzione di questi effetti nella popolazione" ⁽¹¹⁾. Il *National Health*

11 Lehto J, Ritsatakis A. Health Impact Assessment as a tool for intersectoral health policy. Discussion paper for a conference on "Health impact assessment: from theory to practice". Gothenburg, 28-31 October 1999

"Health impact assessment (HIA) is a combination of procedures, methods, and tools used to evaluate the potential health effects of a policy, programme or project. Using qualitative, quantitative and participatory techniques, HIA aims to produce recommendations that will help decision-makers and other stakeholders

Service del Regno Unito descrive la VIS come: “uno strumento per i processi decisionali, concepito in modo da tenere in considerazione un ampio spettro di possibili effetti di una data proposta (di politica, attività, progetto) sulla salute della popolazione interessata”.

Si tratta di un processo che:

- considera le evidenze scientifiche sulla relazione tra il progetto in studio e la salute;
- tiene in considerazione le preferenze di quanti possono essere interessati dalla proposta;
- identifica e analizza i possibili impatti sanitari della proposta o di proposte alternative, confrontandone gli esiti tra loro;
- consente all’autorità di prendere decisioni informate in modo da ottenere i massimi benefici sanitari e ridurre il più possibile gli effetti avversi.

La VIS offre quindi un sistema strutturato per descrivere le conseguenze sanitarie, positive o negative, di qualunque proposta e aiuta a

make choices about alternatives and improvements to prevent disease/injury and to actively promote health”

chiarire le implicazioni sanitarie, per la popolazione interessata, di una data linea di azione e delle alternative in considerazione. Consente di considerare la salute sin dalle fasi iniziali dello sviluppo delle politiche, assicurando così che gli impatti sanitari non siano trascurati. L'approccio è di tipo partecipativo, mirato alla stima delle implicazioni sanitarie di proposte, politiche, piani, opere pubbliche o private, infrastrutture, progetti concreti, con lo scopo di identificare ed esaminare opzioni alternative e orientare le scelte nella direzione migliore per la salute.

La VIS, definita in modo preciso e con una metodologia codificata, è abbastanza recente. Tuttavia valutare le conseguenze sulla salute di circostanze, azioni e agenti esterni è una delle aspirazioni e funzioni tipiche della sanità pubblica. In un certo senso la VIS, pur non proponendo concetti sostanzialmente nuovi, nasce e prende corpo proprio in risposta ad una domanda crescente di esercizio di questa funzione, legata ad una crescente consapevolezza dell'importanza del rapporto ambiente/salute.

2.3.1 Metodologia della VIS

La VIS dunque partendo dall'analisi dei fattori di rischio, dallo stato di salute delle popolazioni esposte, tramite modelli previsionali delle ricadute sanitarie di una certa scelta, in genere politica, orienta le decisioni.

Infatti è nel momento in cui queste scelte vengono effettuate che esiste un grande potenziale di sanità pubblica, in quanto è possibile favorire le opzioni più salutari a discapito di quelle che comportano i maggiori rischi. Inoltre su determinanti di salute “a monte”, è possibile operare scelte favorevoli alla salute in modo probabilmente più efficace rispetto ad un intervento successivo teso a riportare esposizioni eccessive entro limiti prefissati.

La VIS, dunque, descrive come decisioni di natura politica influenzino direttamente o indirettamente la salute delle persone interessate da tali decisioni.

Si tratta, naturalmente, di un obiettivo ambizioso. Per questo la VIS richiede uno sforzo multidisciplinare, un insieme di strumenti e risorse, approcci qualitativi e quantitativi, e un modello di lavoro partecipativo che prevede la consultazione sistematica con i portatori di interesse (*stakeholders*). Gli esperti garantiscono l'accesso alle evidenze scientifiche pubblicate in letteratura; i tecnici forniscono i dati; altre informazioni sono condivise attraverso la consultazione allargata. La consultazione con gli *stakeholders* consente, in primo luogo, di identificare alcuni fattori di rischio ed effetti non noti o non presi in considerazione dal gruppo esperto,

di identificare gruppi vulnerabili o esposti a particolari rischi e ad accedere a dati non sempre pubblicati in letteratura.

La VIS consiste in una sequenza logica e operativa di fasi, riassumibili, utilizzando la terminologia inglese in: ⁽¹²⁾

Screening – E' la fase di pre-selezione durante cui il programma/progetto viene celermente esaminato al fini di una valutazione generale sui potenziali effetti sulla salute della popolazione. Questa fase può in alcuni casi essere di per sé conclusiva: ciò accade quando l'analisi ambientale e/o epidemiologica sono palesemente ed inequivocabilmente favorevoli o sfavorevoli alla proposta oggetto di indagine.

Scoping - Comprende la definizione degli ambiti (e dei limiti e confini) per la valutazione dell'impatto sanitario; accordo su modalità e percorso per la gestione delle valutazioni; allocazione delle responsabilità per la presa delle decisioni; accordo sul come monitorare e valutare il processo di VIS e gli outcomes per la salute.

12 Parry J, Wright J. Community participation in health impact assessments: intuitively appealing but practically difficult. Bull World Health Org 2003;81(6):388

Appraisal - Si tratta della fase valutativa vera e propria, durante cui gli esiti sanitari identificati nello *scoping* sono presi in esame. Gli impatti per i quali le evidenze e i dati disponibili lo consentano sono quantificati; altri sono caratterizzati in modo qualitativo. Questa fase è di norma condotta dal gruppo esperto, sebbene sia importante mantenere una certa trasparenza con gli *stakeholder*. Un rapporto finale descrive le fasi del lavoro, i risultati ottenuti e formula poi delle raccomandazioni concernenti la proposta in oggetto. Le raccomandazioni si rivolgono principalmente a chi ha la responsabilità decisionale, ma è importante, al fine di raggiungere la necessaria trasparenza, anche la condivisione con quanti abbiano contribuito al processo.

Monitoring and evaluation – Consiste nella fase di valutazione *a posteriori*, tappa importante finalizzata a verificare se: la VIS è stata condotta in modo soddisfacente (*process evaluation*); le raccomandazioni sono state accolte, e in che misura (*impact evaluation*); gli impatti previsti e l'andamento degli indicatori di salute sono in linea con le valutazioni formulate nella VIS (*outcome evaluation*).

A livello europeo è interessante notare che la VIS sia annoverata fra gli strumenti per sostenere la riforma della politica di coesione predisposta

dalla Commissione europea per il periodo 2007-2013, destinata a ridisegnare il panorama della solidarietà Europea. Le politiche di programmazione in tal senso devono essere finalizzate a migliorare la diffusione e la qualità dei servizi essenziali contribuendo direttamente alla riduzione di povertà ed esclusione sociale.

Gli obiettivi comunitari di sviluppo di politiche favorevoli alla salute in tutti i settori, coesione sociale e giustizia distributiva, sono perseguibili anche attraverso la VIS, capace di supportare sistemi decisionali che tengano conto delle esigenze di salute nella formulazione di politiche in tutti i settori.

La VIS può avere un ruolo di rilievo soprattutto nella gestione di siti inquinati, dove le implicazioni sanitarie delle politiche adottabili e il potenziale di guadagno in salute legato ad interventi di bonifica sono più evidenti. In tale ambito la fase di *screening* non richiede grandi sforzi, poiché gli interventi di bonifica, o almeno quelli di una certa portata, hanno una grande rilevanza in termini di salute. Tuttavia, gli interventi di bonifica sono mirati alla soluzione di un problema esistente, la contaminazione, e non nascono come interventi di sviluppo. La speranza è che nascano

sempre più numerosi interventi di sviluppo alla cui formulazione la VIS può dare un contributo proficuo.

3 ANALISI DEL RISCHIO

3.1 FASI DELL'ANALISI

Il core del processo di valutazione d'impatto sanitario è l'analisi del rischio, analisi le cui componenti fondamentali sono:

- valutazione del rischio (risk assessment)
- gestione del rischio (risk management)
- comunicazione del rischio (risk communication).

La valutazione del rischio è la caratterizzazione scientifica e sistematica dei potenziali effetti negativi sulla salute derivanti dall'esposizione umana ad agenti pericolosi o a situazioni di pericolo. Il rischio è infatti la probabilità (quantitativa) che possa verificarsi un effetto sulla salute a seguito di una specifica esposizione a una fonte di pericolo (hazard). La probabilità che si verifichi il danno varia da 0 (assenza dell'evento) a 1 (certezza dell'evento). La valutazione del rischio può essere prospettiva o retrospettiva. Nel primo caso il fine del processo di risk assessment è di predire i potenziali effetti sanitari di una esposizione futura. Valutazioni del rischio sanitario di tipo prospettico sono ad esempio quelli della (VIS). La valutazione retrospettiva è invece l'analisi degli effetti

negativi sulla salute associati ad un'esposizione già presente, come la valutazione degli effetti sanitari associati ad un sito ad elevata pressione ambientale.

La valutazione del rischio può essere articolata in varie fasi.

La prima è quella dell'identificazione del pericolo, allo scopo di determinare se una certa esposizione abbia effetti sulla salute. Gli studi epidemiologici sono utili a stabilire un'associazione tra una certa esposizione e uno specifico effetto sulla salute.

Una fase successiva è la valutazione della relazione tra dose e risposta.

La terza fase consiste nel valutare l'entità dell'esposizione e le modalità di esposizione. L'esposizione può essere misurata direttamente, ma più spesso indirettamente, desumendola dalla concentrazione degli agenti nelle matrici ambientali, tenendo conto dei modelli di trasporto nell'ambiente e della durata dell'esposizione.

La fase di caratterizzazione del rischio infine raccoglie e integra le informazioni ottenute nelle fasi precedenti, fornendo una stima quantitativa del rischio (in genere tossicologico e cancerogeno). La stima del rischio (R)

per la salute umana, connessa all'esposizione a un agente contaminante, può essere espressa con la formula: $R = E \times T$, dove E (mg/kg die) rappresenta l'assunzione cronica giornaliera dell'agente e $T \text{ (mg/Kg die)}^{-1}$, la tossicità dello stesso.

La procedura di analisi di rischio può essere condotta in modalità diretta (forward mode) o inversa (backward mode). La modalità diretta permette di stimare il rischio sanitario per il recettore esposto, sia posto in prossimità del sito (on-site) che ad una certa distanza (off-site), conoscendo la concentrazione in corrispondenza della sorgente di contaminazione. Avendo invece fissato il livello di rischio per la salute ritenuto accettabile per il recettore esposto, la modalità inversa permette il calcolo della massima concentrazione in sorgente compatibile con la condizione di accettabilità del rischio.

La gestione del rischio è il processo decisionale che integra fattori politici, sociali, economici e tecnici con le informazioni ottenute in sede di valutazione del rischio.

La comunicazione del rischio è lo scambio di informazioni sulla valutazione e sulla gestione dei rischi per la salute tra i soggetti interessati.

L'accesso all'informazione e la possibilità di esprimere le proprie convinzioni su questioni rilevanti per la salute è un problema che riguarda la sfera dei diritti dei cittadini e delle collettività. Le amministrazioni pubbliche devono garantire che tale processo comunicativo avvenga, senza discriminazioni e secondo criteri di trasparenza e interesse generale. Affinché la comunicazione raggiunga il suo obiettivo e il messaggio sia compreso dal target al quale è rivolto, è fondamentale che la valutazione e la stima del rischio, ottenuta attraverso l'analisi scientifica ed epidemiologica (i dati), si colleghi strettamente con la percezione anche emozionale del rischio, individuale e collettiva.

3.2 ANALISI DEL RISCHIO IN SITI INQUINATI

I primi tentativi di standardizzazione delle metodologie di analisi di rischio risalgono a quando negli U.S.A. sono state emanati i primi programmi per fronteggiare il problema del rilascio di prodotti petroliferi dai serbatoi interrati (*Underground Storage Tank programs*, UST) e dei siti contaminati di grandi dimensioni (*Superfund program*). La procedura dell'American Society for Testing and Materials, ASTM del 1995 applica l'approccio RBCA (*Risk-Based Corrective Action*) ai siti interessati dal

rilascio di prodotti petroliferi. Il suo successivo sviluppo estende l'applicabilità della metodologia RBCA a tutti i siti interessati da rilasci di sostanze chimiche. I documenti *Risk Assessment Guidance for Superfund* e *Soil Screening Guidance: User's Guide*, prodotti dall'U.S.EPA, costituiscono il punto di partenza di gran parte delle guide tecniche sviluppate dai singoli stati americani. Attualmente in Italia sono utilizzati sia modelli che seguono piuttosto fedelmente la procedura RBCA (RBCA Toolkit e RISC 4.0), sia modelli che mutuano le equazioni di calcolo da altre procedure.

3.2.1 La metodologia RBCA

La metodologia RBCA prevede lo sviluppo di tutti o parte dei seguenti livelli di analisi ^{13;14}

13 American Society for Testing and Materials. Standard Guide for Risk-Based Corrective Action, E 2081-00. Usa: ASTM; 2000.

14 D'Aprile L, Calace N. Methodological Approach for the Evaluation of Human-Health Risk at Contaminated Sites. Proceedings of the "Fourth International Conference on Remediation of Contaminated Sediments". Savannah (Georgia), January 22-25, 2007.

D'Aprile L, Tatano F, Musmeci L. Development of quality objectives for contaminated sites: state of the art and new perspectives. International Journal of Environment and Health 2007;1(1):120-41.

Livello 1, utilizzato per effettuare un primo screening del sito in esame. Questo livello di indagine implica l'adozione di parametri (geometria della contaminazione, tempo e durata dell'esposizione, ecc.) poco specifici. In questa fase le informazioni sul sito sono estremamente limitate: l'uso del territorio ipotizzato è quello più sensibile (residenziale). Nell'analisi di livello 1 i punti di esposizione sono ipotizzati coincidenti con le sorgenti di contaminazione; non si tiene quindi conto di fenomeni di attenuazione dovuti alla diffusione dei contaminanti nello spazio e nel tempo. Nel livello 1 della procedura RBCA vengono calcolati i valori RBSL (*Risk Based Screening Levels*) ovvero i criteri di qualità delle matrici ambientali che non utilizzano parametri sito-specifici. Il Livello 1 prevede quindi il confronto delle concentrazioni misurate sul sito con i RBSL calcolati: qualora si evidenzino dei superamenti dei criteri di qualità si può procedere con la bonifica, previa valutazione del rapporto costi/benefici, oppure procedere ad un Livello 2 di analisi, dopo un approfondimento delle indagini.

Livello 2 rappresenta una valutazione sito-specifica. I parametri e i punti di esposizione considerati sono noti sulla base delle indagini condotte sul sito in esame e conducono quindi alla definizione di concentrazioni

ammissibili di contaminanti più realistiche, definite SSTL(*Site Specific Target Levels*). In questa fase vengono utilizzati dati sito-specifici(contenuto di carbonio organico, permeabilità, porosità, geometria della sorgente, ecc.) e vengono considerati i relativi scenari di migrazione della contaminazione dalla sorgente. Il Livello 2 prevede il confronto delle concentrazioni misurate in sito con gli SSTLs calcolati: in caso di superamento di tali valori si può decidere di procedere alla bonifica,dopo avere valutato attentamente i rapporti costi/benefici o di procedere ad un livello 3 di analisi, dopo un approfondimento delle indagini.

Livello 3 prevede l'utilizzo di modelli di calcolo più complessi, introducendo valutazioni di tipo probabilistico e impiegando sofisticati modelli matematici previsionali delle modalità di trasporto dei contaminanti nelle varie matrici ambientali interessate. L'applicazione di tali modelli richiede una maggiore attività di caratterizzazione allo scopo di aumentare il numero, il dettaglio e l'accuratezza dei dati. L'applicazione del Livello 3 di analisi di rischio consente il calcolo di nuovi SSTLs basati su una conoscenza dettagliata e approfondita di tutte le caratteristiche del sito, tuttavia il dettaglio di caratterizzazione richiesto per l'applicazione di un livello 3 di analisi ha dei costi molto elevati.

Gli elementi fondamentali che caratterizzano la procedura RBCA possono essere così sintetizzati:

- livello di protezione dell'uomo e dell'ambiente: deve essere mantenuto costante in tutti i livelli di approfondimento dell'analisi di rischio;

- fattori di sicurezza utilizzati nel calcolo del rischio: tendono a diminuire all'aumentare del livello di applicazione dell'analisi di rischio, in funzione della maggiore disponibilità di dati sito-specifici attendibili;

- attendibilità e numero delle informazioni disponibili: devono aumentare con il livello di approfondimento dell'analisi di rischio in funzione della maggiore richiesta di dati sito specifici e della complessità dei modelli di calcolo applicati;

- costi dell'investigazione: tendono ad aumentare con il livello di approfondimento dell'analisi di rischio in funzione della maggiore richiesta di dati sito-specifici in termini di numero e attendibilità (es. uso di attrezzature di campionamento tecnologicamente più avanzati, impiego di strumentazione ad elevata sensibilità per le determinazioni analitiche, ecc.);

– rapporto costi/benefici della bonifica: in linea generale, all'aumentare del grado di conoscenza del sito i costi complessivi della bonifica dovrebbero ridursi in ragione di una migliore definizione dei percorsi di esposizione, dei volumi complessivi da trattare, delle caratteristiche delle matrici contaminate.

3.2.2 I software applicativi

Dalla procedura RBCA sono derivati alcuni software applicativi a carattere commerciale (13); molto interessante quello statunitense denominato *RBCA Tool Kit*.

Il RBCA Tool Kit è stato sviluppato espressamente per le valutazioni di livello 1 e di livello 2, così come delineate negli standard ASTM. Sulla base di dati sito specifici forniti dall'utente, il *Tool Kit* combina modelli di destino e trasporto dei contaminanti con le funzioni di stima del rischio e consente di valutare: le concentrazioni al punto di esposizione, la dose media giornaliera, il rischio associato alla presenza dei contaminanti (*forward & baseline calculation*).

4 SORVEGLIANZA AMBIENTE E SALUTE

4.1 PROBLEMI METODOLOGICI

Un sistema di sorveglianza ha il compito precipuo di identificare precocemente eventi di rilevanza sanitaria e di fornire dati, dalla cui elaborazione scaturiscono importanti applicazioni nella prevenzione e controllo.⁽¹⁵⁾ Particolare attenzione va riservata alla diffusione dei risultati verso gli interessati a conoscere, all'uso dei risultati a fini di prevenzione e alla valutazione dei rischi ambientali⁽¹⁶⁾.

Scopi e motivazioni della sorveglianza attualmente sono riassumibili in ¹⁷:

- guidare azioni immediate di sanità pubblica;

15 Thacker, S.B., and Berkelman, R.L., and Stroup, D.F. "The Science of Public Health Surveillance". J Public Health Policy 10 (1989):187-203

16 Steven M. Teutsch, R. Elliott Churchill. Principles and Practice of Public Health Surveillance. New York: Oxford University Press, 2000

17 AA.VV. Updated Guidelines for Evaluating Public Health Surveillance Systems, Recommendations from the Guidelines Working Group. Morbidity and Mortality Weekly Repor. July 27, 2001/50(RR13);1-35

- misurare il carico di malattia, fattori associati e rischi per la popolazione;
- monitorare andamenti, incluso la identificazione di epidemie e pandemie;
- guidare la pianificazione, l’implementazione e la valutazione di programmi per prevenire e controllare malattie, incidenti o esposizioni;
- identificare cambiamenti nelle pratiche sanitarie e i loro effetti;
- suggerire priorità per l’allocazione di risorse per la sanità pubblica;
- descrivere la storia naturale della malattia;
- fornire basi per la ricerca epidemiologica e formulare ipotesi eziologiche.

Finora la sorveglianza della salute pubblica è stata indirizzata più verso gli effetti sulla salute (es. malattie, disabilità, incidenti) con scarsi riferimenti a tutto quanto sia a monte dell’effetto: dai fattori ambientali di pericolo e rischio, all’esposizione a tali fattori, ambedue processi rilevanti nelle attività di gestione e controllo dell’ambiente a scopo di sanità pubblica. La crescita di attenzione sul legame tra pressioni ambientali e potenziali effetti sulla salute ha comportato una parallela crescita di

consapevolezza della necessità di sviluppare la sorveglianza in campo ambiente e salute.

La sorveglianza epidemiologica “mirata” ad aree inquinate, presuppone che siano soddisfatte due condizioni:

a) che sia documentata la presenza di pressioni ambientali riconosciute o ipotizzate dannose per la salute umana;

b) che sia possibile attuare la sorveglianza in modalità “integrata”.

Il primo di questi assunti è facilitato in aree riconosciute ad elevato rischio di crisi ambientale, nei siti di interesse nazionale per le bonifiche e in aree considerate, in modi diversi, ad alta pressione ambientale. Le prime, introdotte nel quadro normativo italiano con la Legge n. 349 dell’8 luglio 1986, sulla base di una compromissione dell’ambiente «non contrastabile con mezzi ordinari», a causa di inquinamento dovuto a un particolare polo produttivo, presenza di fonti diffuse di contaminazione o dissesto idrogeologico. I siti di interesse nazionale per le bonifiche (SIN) sono stati identificati dalla Legge 426/1998 con riferimento alla contaminazione dei suoli e alla presenza di rifiuti tossici. Altre zone sotto attenzione sono quelle interessate dalla presenza di amianto (articolo 20 della Legge n. 93

del 23 marzo 2001), le migliaia di siti di bonifica di interesse regionale e le aree con particolari insediamenti produttivi, come i circa 1.100 stabilimenti a rischio di incidente rilevante (DL.vo 334/1999), gli inceneritori di rifiuti, le centrali di produzione di energia elettrica. Altre aree a forte pressione ambientale sono state identificate attraverso indagini svolte da gruppi di ricercatori indipendentemente dalle normative di legge (¹⁸).

Maggiori difficoltà risiedono nella definizione delle aree e dei gruppi esposti(¹⁹) e nell'individuazione dei metodi migliori per attuare una sorveglianza integrata ambiente-salute. A tal proposito sono possibili due distinti tipi di sorveglianza: dei fattori di pericolo e rischio presenti nell'ambiente e dell'esposizione a tali fattori.

La sorveglianza dei fattori di pericolo e di rischio consiste nella valutazione dell'occorrenza, della distribuzione e dell'andamento dei livelli di agenti pericolosi (sostanze chimiche tossiche, agenti fisici, fattori

18 Bianchi F, Biggeri A, Cadum E, Comba P, Forastiere F, Martuzzi M, Terracini B. Epidemiologia ambientale e aree inquinate in Italia. *Epidemiol Prev* 2006;30(3):146-152

19 Bianchi F, Comba P (Ed.) *Indagini epidemiologiche nei siti inquinati: basi scientifiche, procedure metodologiche e gestionali, prospettive di equità*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2006. (Rapporti ISTISAN 06/19)

biomeccanici, agenti biologici) riconosciuti o ipotizzati responsabili di malattie.

La sorveglianza dell'esposizione consiste nel monitoraggio di soggetti appartenenti alla popolazione target, mirato alla misura di marcatori di esposizione o parametri che rivelino modifiche fisiologiche o anche effetti pre- o sub-clinici.

L'attività di sorveglianza di malattie infettive, malattie croniche, incidenti è stata definita, formalizzata e sperimentata da molto tempo; anche l'attività di monitoraggio di inquinanti ambientali ha visto un grande slancio negli ultimi anni; più immatura appare invece la componente relativa all'esposizione.

La capacità di mettere in relazione tra loro le componenti di sorveglianza su pericoli, esposizioni e malattie, costituisce la chiave per realizzare un processo completo di sorveglianza su ambiente e salute per la sanità pubblica.

Si può quindi ritenere molto valida come definizione di sistema di sorveglianza ambiente e salute: “la sistematica e continua raccolta, archiviazione e analisi di dati relativi a malattie correlate all'ambiente, a

rischi ed esposizioni ambientali, e la tempestiva diffusione di informazioni a coloro che hanno bisogno di tali conoscenze per decidere azioni”⁽²⁰⁾

Gli aspetti più problematici sono:

– Capacità limitate nell’identificare cause ambientali specifiche della maggior parte degli eventi avversi di salute. Queste limitazioni sono particolarmente restrittive nel caso di malattie con lungo periodo di induzione-latenza, specie se la causa è dovuta all’azione di fattori non persistenti nel corpo umano, che non producono effetti singoli o marcatori identificabili, o non sono riferibili a fonti o aree inquinanti con caratterizzazione tossicologica conosciuta;

– Bassa utilizzabilità di dati rilevati per altri scopi, in particolare per problemi di incompletezza e scarsa qualità del dato riferito all’*outcome*, di riferibilità alla popolazione target;

– La difficile gestione degli allarmi pubblici in relazione alle conoscenze scientifiche e al contesto sociale in cui vengono prese le decisioni;

20 Thacker SB, Stroup DF, Parrish RG, Anderson HA. Surveillance in Environmental Public Health: Issues, Systems, and Sources. Am J Public Health 1996;86:633-638.

– Il ruolo crescente dell’uso di marcatori biologici per fornire misure dirette dell’assorbimento giornaliero e del carico corporeo di sostanze inquinanti, o anche misure indirette di alterazioni indotte ⁽²¹⁾

– rarità delle patologie sensibili specifiche o elevata frequenza di malattie sensibili ma aspecifiche (*es. linfomi non Hodgkin o tumori del polmone*)

– bassa percentuale di esposti ad agenti specifici rispetto alla popolazione considerata esposta o comunque posta sotto sorveglianza come *unicum*;

– moderato potere cancerogeno, mutageno e/o teratogeno della maggior parte degli agenti ambientali;

– eterogeneità di esposizione (*cofattori, effetti di confondimento, modificazione, interazione*)

- suscettibilità genetica (*polimorfismi, interazioni gene-gene e gene-ambiente*).

21 Bianchi F. Il biomonitoraggio in epidemiologia ambientale. In: Bianchi F, Comba P (Ed.) Indagini epidemiologiche nei siti inquinati: basi scientifiche, procedure metodologiche e gestionali, prospettive di equità. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2006. (Rapporti ISTISAN 06/19)

4.1.1 Indicatori ambiente-salute

Per costruire un sistema di sorveglianza su ambiente e salute in grado di individuare cambiamenti di esposizioni riconosciute rischiose o dannose per la salute e identificare agenti nocivi precedentemente non conosciuti, è importante disporre di validi indicatori ambiente-salute.

La definizione degli IAS può far riferimento alla lista ECOEHIS ⁽²²⁾.

Negli USA si è attuata una sistematizzazione delle fonti dei dati a supporto del sistema di sorveglianza ambiente e salute pubblica, che per ogni fonte informativa prevede che siano riportati:

- categoria di tipo di evento (pericolo, esposizione, effetto);
- dimensione del programma (nazionale, statale),
- organizzazione responsabile (es. EPA, ATSDR, NIDA, NIH),
- fonte dei dati (es. sistema di monitoraggio, indagine di popolazione, flussi informativi sanitari, registri di patologia, medici di famiglia, ecc.),

22 Development of Environment and Health indicators for the European Union Countries. Disponibile all'indirizzo: <http://www.euro.who.int/EHindicators/Methodology>

– limitazioni dei dati (ritardo di disponibilità, incompletezza, non rappresentatività, bassa qualità, difficoltà di disaggregazione) ⁽²³⁾.

La valutazione dell'andamento nel tempo e nello spazio viene effettuata sia mediante analisi al termine di periodi prefissati (periodiche) sia in continuo, cioè via via che gli eventi si verificano.

Per le **analisi periodiche**, le valutazioni si basano su test a posteriori, come il test Chiquadro per il trend o il rapporto tra casi osservati e casi attesi, in forma standardizzata per altri parametri o no. A volte si fa ricorso anche a tecniche più sofisticate come il metodo della finestra mobile o SCAN ²⁴.

Per le **analisi in continuo** esistono metodi che tengono conto, in vario modo, degli eventi che si verificano. Questi metodi di analisi sequenziale, definiti anche “autorinforzanti” in quanto rafforzano la loro prestazione cumulando gli eventi precedenti, hanno bisogno di dati disaggregati nel tempo, e di tecniche più sofisticate, che a fronte di maggiore difficoltà concettuale ed esecutiva hanno il pregio di offrire

23 Thacker SB, Stroup DF, Parrish RG, Anderson HA. Surveillance in Environmental Public Health: Issues, Systems, and Sources. Am J Public Health 1996;86:633-638.

24 Naus J, Wallenstein S. Temporal surveillance using scan statistics. Stat Med 2006;25(2):311-324

migliori prestazioni. I metodi più conosciuti e utilizzati sono le carte cumulative di controllo o CUSUM, il metodo SETS ed altri ²⁵, non molto impiegati a causa dei requisiti stringenti sui dati necessari e del non facile uso a livello locale.

Metodi di analisi spaziale L'analisi spaziale consente di individuare tendenze all'addensamento di una distribuzione di eventi (*clustering*) e di identificare gli stessi addensamenti anomali (*cluster*). Per *cluster* si intende “un gruppo geograficamente circoscritto di eventi di dimensione e concentrazione tali da rendere improbabile che siano di natura casuale” ²⁶.

25 Chen R. The relative efficiency of the sets and the cusum techniques in monitoring the occurrence of a rare event. *Stat Med* 1987;6(4):517-25.

Gallus G, Radaelli G, Marchi M. Poisson approximation to a negative binomial process in the surveillance of rare health events. *Methods Inf Med* 1991;30(3):206-9.

Lawson AB and Kleinman K (Ed). *Spatial and Syndromic Surveillance for Public Health*. New York: John Wiley & Sons, Ltd; 2005

26 . Knox EG. Detection of clusters. In: Elliott P (Ed). *Methodology of enquiries into disease clustering*. London: Small Area Health Statistics Unit; 1989. p 17-20

Sull'importanza del rigore metodologico nella pianificazione e nella conduzione di studi di epidemiologia ambientale si considerino le seguenti esemplificazioni.

Per sottolineare l'importanza del contesto della sorveglianza si consideri il seguente esempio: supponiamo di osservare 15 casi di Linfoma non Hodgkin concentrati in un periodo di 2 mesi; avendo una frequenza attesa (stimata sulla base di specifico baseline) di 6,6 la probabilità di avere un risultato uguale o maggiore per solo effetto del caso è 0,00339. Considerando quel bimestre nell'ambito di una osservazione della durata di 2 anni si dovranno considerare 12 possibili bimestri per cui la probabilità di avere concentrati per caso 15 eventi in almeno uno dei 12 periodi, secondo la distribuzione binomiale di probabilità, diventa $= 1 - (1 - 0,00339)^{12} = 0,039$ (in situazione di indipendenza tra periodi). Ma in questo modo si sono considerati solo i possibili bimestri contigui (disgiunti); ove si considerassero tutti i possibili periodi (in parte sovrapposti l'un l'altro!) il metodo SCAN ci fornisce una probabilità di osservare per il solo effetto del caso un massimo di 15 eventi pari a 0,1365. Quindi si può pervenire a tre risultati statistici molto diversi tra loro: altamente significativo, significativo, non significativo, a seconda dell'approccio di osservazione.

Il messaggio che ne scaturisce è di non trascurare l'importanza della decisione sull'ambito (sia temporale sia spaziale che spazio-temporale) di osservazione, soprattutto per evitare l'uso scorretto dell'approccio post-hoc, ben rappresentato dalla metafora del pistolero texano (che prima spara e poi disegna il bersaglio attorno al foro provocato dal suo proiettile), nel sostenere la non casualità di cluster di casi spontaneamente segnalati, indipendentemente da ipotesi di rischio, non distinguendo da situazioni con ipotesi a priori basate sulla presenza di rischio esposizioni ^{27 28}.

Diluizione di effetto È quel fenomeno che accade quando si osserva una popolazione piuttosto che uno specifico gruppo esposto o suscettibile su cui agisce un fattore di rischio. Uno stesso effetto si può avere quando si sorveglia una categoria diagnostica aspecifica piuttosto di una diagnosi specifica (es. tutti i tumori e tumore del fegato e vie biliari) sulla quale agisce il fattore esogeno associato o ipotizzato tale. Ad esempio un rischio relativo specifico che agisca su una proporzione ridotta di esposti (RRs), ancorchè elevato, si diluisce in un rischio relativo globale (RRg)

27 Neutra R. Counterpoint from a cluster-buster. *Am J Epidemiol* 1990;132:1-8

28 Biggeri A. Il Gruppo di studio ministeriale su Radio Vaticana e il caso del "rospo ostetrico". *Epidemiol Prev* 2001;25(6):239-244.

estremamente ridotto osservando l'intera comunità; inoltre per poter evidenziare il rischio occorrerebbe un numero di attesi ed un numero minimo di osservati molto più alto per dare uno scostamento statisticamente significativo. All'aumentare della proporzione di esposti diminuisce l'effetto di diluizione e con esso il numero di attesi e osservati critici, fino alla situazione in cui è tutta la popolazione ad essere esposta e quindi il RRs è uguale al RRg e sarà sufficiente osservare pochi casi per avere un allarme significativo. Occorre quindi considerare adeguatamente i possibili effetti di diluizione, cioè dimensionare il sistema di sorveglianza su conoscenze solide sulle popolazioni e i gruppi da sorvegliare e sugli indicatori di effetto, che siano malattie nel caso della sorveglianza epidemiologica "classica" o indicatori di associazione tra ambiente e salute.

Prestazioni e potenza del sistema La capacità di un sistema di sorveglianza di evidenziare un certo incremento di rischio è in relazione alla percentuale di popolazione esposta e al tasso dell'evento; le situazioni più ostiche da fronteggiare e cioè patologia rara ed esposizione rara richiedono il ricorso a disegni multi-centro e a reti collaborative. Al momento della progettazione di un programma di sorveglianza o di un'indagine epidemiologica, occorre quindi tenere conto di numerosi

elementi per dimensionare correttamente l'indagine e al contempo evitare aspettative sovradimensionate rispetto alle realistiche possibilità di performance del sistema.

Occorre dedicare quindi grande attenzione alla dimensione della popolazione da sorvegliare (il contesto di osservazione), alla scelta dei metodi (la dimensione statistica) e, soprattutto nelle aree inquinate, alla definizione dei gruppi esposti e vulnerabili (la diluizione e la concentrazione). Quest'ultimo livello di conoscenza è critico sia per la definizione del disegno di sorveglianza sia per le azioni da intraprendere a seguito di un segnale di attenzione, incluse quelle di comunicazione ²⁹.

Le azioni da intraprendere quando il sistema abbia segnalato un'uscita dalle condizioni prestabilite come di normale funzionamento (inclusi livelli di fluttuazione accettabili), sono state oggetto di studi che hanno prodotto raccomandazioni e linee guida, come quelle dei CDC ³⁰.

29 Fazzo L, Comba P. Il ruolo dei gruppi ad alto rischio nello studio delle relazioni tra ambiente e salute
Ann. Ist. Sup. Sanità 2004;40(4):417-426

30 Centers for Disease Control. Guidelines for investigating clusters of health events. MMWR 1990;39
(no RR-11). Disponibile all'indirizzo: <http://www.cdc.gov>

4.2 BIOMONITORAGGIO

La semplice misura ambientale dei diversi inquinanti rappresenta soltanto un indicatore approssimativo della reale esposizione umana. Il monitoraggio ambientale di un inquinante dipende infatti da quante e quali delle diverse fasi/matrici sono interessate dalle misurazioni. Ad esempio, il monitoraggio ambientale dei sedimenti potrebbe fornire una misura distorta dell'esposizione, se non si tiene conto adeguatamente dei meccanismi di biodisponibilità nel suolo a cui sono sottoposte le sostanze di interesse. Anche le determinazioni analitiche degli inquinanti nella catena alimentare e nel cibo non è sufficiente di per sé ad effettuare stime corrette dell'esposizione umana, soprattutto se non si tiene conto delle abitudini alimentari e dello stile di vita dei soggetti residenti nei siti inquinati. Un altro elemento da considerare è che anche i soggetti che sperimentano livelli simili di esposizione possono presentare variazioni nel carico corporeo di inquinanti. Alla base di questo fenomeno potrebbero giocare un ruolo importante le differenze interindividuali nella velocità di assorbimento, nel tasso di accumulo nei tessuti, o nella capacità di metabolizzare le sostanze di interesse. Il valore aggiunto di strategie basate

sul **biomonitoraggio** umano³¹ è dunque la possibilità di definire la reale dose degli inquinanti nell'organismo, come risultante dei processi metabolici e di bioaccumulo, che può essere notevolmente differente da quella stimata a partire da misure nelle matrici ambientali e alimentari. Un corretto utilizzo del monitoraggio biologico dell'esposizione e del carico corporeo dei contaminanti ambientali rappresenta dunque lo strumento più appropriato per integrare le diverse sorgenti di contaminazione e le varie modalità attraverso le quali si realizza l'esposizione umana (inalazione, ingestione e assorbimento cutaneo). La scelta degli inquinanti su cui orientare l'attività di sorveglianza attraverso monitoraggio biologico dovrebbe essere orientata verso sostanze per le quali siano disponibili valori di riferimento rispetto a specifici effetti sanitari.

Nonostante il monitoraggio biologico sia un approccio di recente applicazione, negli ultimi anni si è riscontrata una notevole diffusione di studi su questo argomento. Laddove il monitoraggio ambientale può rivelare la presenza di sostanze nocive nei vari comparti (aria, acqua, suolo) prima di una significativa esposizione, quello biologico rileva, invece,

31 IPCS (International Program on Chemical Safety) Biomarkers and risk assessment: concepts and principles. EHC N. 1993;155:1-82.16

l'assunzione effettiva riscontrabile dopo l'esposizione. Di per se' il monitoraggio biologico fornisce un dato più affidabile di rischio sulla salute, poiché è una misura integrata dell'assorbimento totale che è avvenuto attraverso la pelle, l'inalazione e l'ingestione di sostanze inquinanti, tenendo conto di alcuni parametri individuali che influenzano tale assorbimento quali: abitudini igieniche, età, sesso, stato di salute, tipologia dell'attività lavorative, carichi di lavoro, ecc.

A differenza degli altri metodi usati per determinare l'esposizione umana, il biomonitoraggio non fornisce una "stima" di "esposizione esterna" – quale quella che si ricava, ad esempio dal monitoraggio di tipo ambientale ma la "misura" di una "dose interna" risultante dalle diverse vie e fonti espositive, ed è quindi considerato il migliore approccio alla valutazione dell'esposizione, da utilizzarsi ai fini di un adeguato *risk assessment*.

Il monitoraggio biologico delle popolazioni residenti nei siti inquinati rappresenta un ulteriore strumento di indagine sull'impatto sanitario delle emergenze ambientali, capace di affiancarsi e integrarsi con gli studi epidemiologici su base geografica. L'analisi di opportuni biomarcatori nella popolazione d'interesse può infatti fornire informazioni

sui livelli di esposizione interna agli inquinanti, su effetti precoci e suscettibilità individuale che possono avere un ruolo critico nell'evidenziare precocemente situazioni e/o sottogruppi a rischio, nonché nel verificare la plausibilità di associazioni causali tra esposizione a inquinanti ed effetti avversi a lungo termine.

I marcatori oggetto del monitoraggio biologico sono stati tradizionalmente distinti in biomarcatori di esposizione interna, di effetto e di suscettibilità individuale ³².

Lo studio degli effetti ambientali sulla stabilità del genoma e del suo impatto sulla salute umana, attraverso lo sviluppo di marcatori di esposizione, di risposta biologica precoce e di suscettibilità genetica è un'importante area di ricerca in sanità pubblica.

Attualmente i test disponibili per studi epidemiologici sono molto limitati e la ricerca futura dovrà concentrarsi sullo sviluppo di saggi funzionali idonei all'applicazione su larga scala. Inoltre, uno sforzo dovrà essere condotto per verificare l'applicabilità delle nuove tecniche di *omics* (trascrittomica, proteomica, metabolomica) per la valutazione

32 International Programme on Chemical Safety (IPCS). Biomarkers and risk assessment: concepts and principles. Environmental Health Criteria n.155. Geneva: World Health Organization; 1993

dell'esposizione ambientale: tali saggi devono rispondere alla domanda se specifiche esposizioni si riflettano in livelli alterati di mRNA, proteine o metaboliti e se i cambiamenti prodotti siano predittivi della fonte di esposizione (*fingerprints* di esposizione?).

Studi *in vitro* e *in vivo* indicherebbero che questa area è promettente anche se ancora in una fase iniziale per una valutazione del suo potenziale uso. Le informazioni attualmente disponibili sui cambiamenti di espressione genica in seguito a trattamenti con agenti genotossici e non genotossici sia in sistemi *in vitro* che *in vivo* associate alle conoscenze sui meccanismi d'azione di contaminanti ambientali, potrebbero essere raccolte e utilizzate per disegnare *arrays* per esposizioni ambientali specifiche (esposomi) ³³. Gli "esposomi" così disegnati, dopo appropriata validazione in sistemi modello, potrebbero essere utilizzati per identificare esposizioni umane ad inquinanti ambientali.

33 . Wild CP. Complementing the genome with an "exposome": the outstanding challenge of environmental exposure measurement in molecular epidemiology. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2005;14:1847-50

PARTE II

AREE AD ELEVATO RISCHIO
AMBIENTALE IN SICILIA:
valutazione dell'impatto sanitario

5 SITI INQUINATI

5.1 NORMATIVA

Il concetto di sito inquinato viene introdotto, forse per la prima volta, con la definizione delle “aree ad elevato rischio di crisi ambientale” (Legge 08/07/1986 n. 349 e successive modifiche e integrazioni). Tali aree vengono definite e delimitate geograficamente e si comincia a valutare il potenziale rischio sanitario e ambientale posto dal complesso fenomeno di contaminazione ambientale connesso alle attività che si svolgono su detti siti. Per lo più tali siti sono aree industriali in attività con lavorazioni ad alta pericolosità e ad alta potenzialità di contaminazione di tutte le matrici ambientali interessate. Con l’emanazione del DL.vo 22/1997 (decreto Ronchi), che riguarda la gestione dei rifiuti, ma che contiene anche uno specifico articolo (art. 17) che riguarda la bonifica dei siti inquinati nelle loro matrici ambientali, suolo e acque sotterranee e superficiali, il concetto di sito inquinato si allarga, comprendendo non più solo vaste aree industriali in attività, bensì anche aree industriali dismesse o da dismettere e aree di smaltimento rifiuti. Con il DM 471/1999 relativo alle bonifiche dei siti inquinati, si ha la prima definizione di sito inquinato, e

precisamente: *“Sito che presenta livelli di contaminazione o alterazioni chimiche, fisiche o biologiche del suolo o del sottosuolo o delle acque superficiali o delle acque sotterranee tali da determinare un pericolo per la salute pubblica o per l’ambiente naturale o costruito. È inquinato il sito nel quale anche uno solo dei valori di concentrazione delle sostanze inquinanti nel suolo o nel sottosuolo o nelle acque sotterranee o nelle acque superficiali risulta superiore ai valori di concentrazione limite accettabili stabiliti dal presente regolamento”*. Quindi un sito viene considerato inquinato quando in una delle matrici considerate viene superata la concentrazione limite individuata nella normativa. Tale concentrazione limite è stata definita attraverso una procedura di analisi di rischio sanitaria sito-generica, al fine di ottemperare al principio di non *“determinare un pericolo per la salute pubblica o per l’ambiente”*, riportato nella definizione di sito inquinato sopraindicata.

Successivamente è stato promulgato il DL.vo 152/2006, che sostituisce con la Parte IV – Titolo V il DM 471 del 1999, e riporta una nuova definizione di sito inquinato, e precisamente: *“Un sito nel quale i valori delle concentrazioni soglia di rischio (CSR), determinati con l’applicazione della procedura di analisi di rischio di cui all’allegato 1*

parte quarta del presente decreto sulla base dei risultati del piano di caratterizzazione, risultano superati”. La nuova definizione di sito inquinato si differenzia profondamente dalla precedente, in quanto non prevede il confronto con una concentrazione limite predeterminata in base ad una analisi di rischio sito-generica (analisi di rischio di livello 1 secondo la procedura dell’*American Society for Testing and Materials*, ASTM), bensì prevede il confronto con una concentrazione individuata attraverso l’applicazione di una procedura di analisi di rischio sito-specifica (analisi di rischio di livello 2 secondo la procedura dell’ASTM). Pertanto, per ogni sito potenzialmente inquinato, in funzione delle sue specificità, anche geografiche (tipo ed estensione della contaminazione, tipo di terreno, profondità e conducibilità idraulica dell’acquifero, ecc.) verranno individuate le concentrazioni soglia di rischio, superate le quali il sito sarà considerato inquinato.

In entrambe le definizioni di sito inquinato, l’analisi di rischio sanitario gioca un ruolo prioritario. La valutazione sito-specifica del rischio e la decisione, caso per caso, di quale sia la metodologia di analisi più appropriata da utilizzare, per assicurare adeguate condizioni di garanzia e di efficacia degli interventi sono fasi molto delicate. Non stupisce allora

che il Decreto correttivo n° 4/2008 abbia sentito l'esigenza di apportare delle modifiche, in particolare ai criteri di analisi di rischio, prevista in due tempi:

- la prima, di più lungo respiro, comporta addirittura l'integrale sostituzione dei criteri (previsti dall'allegato 1 al T.U.A. del 2006) con quelli che saranno definiti da un futuro Decreto del Ministero dell'Ambiente adottato di concerto con il Ministero dello Sviluppo economico;

- la seconda, di immediata applicazione, interviene subito sui criteri di accettabilità del rischio cancerogeno e sulla definizione di “punto di conformità” per le acque sotterranee. Per quanto concerne i criteri di accettabilità del rischio cancerogeno il D.Lgs. 152/06 aveva stabilito come rischio incrementale accettabile per le sostanze cancerogene un valore pari a 1×10^{-5} (un individuo ogni centomila persone), il nuovo Decreto correttivo ha modificato tale limite fissando in 1×10^{-6} (un individuo ogni milione di persone) come valore di rischio incrementale accettabile per la singola sostanza cancerogena e 1×10^{-5} come valore di rischio incrementale accettabile cumulato per tutte le sostanze cancerogene. Per le sostanze non

cancerogene si applica il criterio del non superamento della dose tollerabile o accettabile (ADI o TDI) definita per sostanza.

Si considera inoltre che la grandezza del rischio (in tutte le sue diverse accezioni) ha, al suo interno, componenti probabilistiche riferite alla natura e all'entità degli effetti nocivi che la contaminazione - o meglio l'esposizione ad un certo contaminante - può avere sui ricettori finali. Inoltre, ai fini della "piena accettazione dei risultati dovrà essere posta una particolare cura nella scelta dei parametri da utilizzare nei calcoli, scelta che dovrà rispondere sia a criteri di conservatività (il principio della cautela è intrinseco alla procedura di analisi di rischio), che a quelli di specificità del sito, ricavabili dalle indagini di caratterizzazione svolte". Pertanto non viene imposta una specifica metodologia su cui deve fondarsi il processo decisionale: è sufficiente che quella prescelta risponda a requisiti di "comprovata validità sia dal punto di vista delle basi scientifiche che supportano gli algoritmi di calcolo, che della riproducibilità dei risultati".

Il Decreto correttivo n° 4/2008 introduce inoltre un nuovo articolo (art. 252 bis) che istituisce "Siti di preminente interesse pubblico per la riconversione industriale" (cd. SIP). Tali siti, anche non compresi nei Siti di interesse nazionale (SIN), saranno individuati con futuro decreto del

Ministero Ambiente e Sviluppo economico. Le condizioni che consentono ad un sito contaminato di poter essere definito SIP sono:

che la contaminazione sia stata causata da eventi antecedenti al 30 aprile 2006

che siano presenti nel sito programmi ed interventi di riconversione industriale e di sviluppo economico produttivo.

In Italia, la nozione di sito di interesse nazionale per la bonifica è specificata dal Decreto 22 del 1997 (Decreto Ronchi), riguardo i rifiuti e i suoli da essi contaminati. Successivamente, la Legge 426 del 1998 detta i criteri per la definizione degli stessi e identifica i primi 15 siti di interesse nazionale per la bonifica, in base ad impatto ambientale, sanitario e socio-economico dell'inquinamento in essi presenti, allargando il campo di intervento ai casi nei quali la contaminazione non sia determinata esclusivamente dai rifiuti. Il Decreto Ministeriale 471/1999 (regolamento applicativo del Decreto del 1997), indica le modalità e le procedure per gli interventi di bonifica e menziona la valutazione del rischio sanitario tra i criteri per l'individuazione degli interventi di interesse nazionale.

In Italia sono stati finora individuati alcune migliaia di siti da bonificare, 54 dei quali definiti di interesse nazionale per l'entità e la tipologia della contaminazione. La definizione di sito di interesse nazionale tiene conto anche della potenzialità di effetti avversi sulla salute, sollecitando indagini epidemiologiche specifiche.

Va evidenziato che la definizione spazio-temporale di sito inquinato, in particolare dei siti di interesse nazionale per le bonifiche (SIN), scaturisce da una serie di esigenze, anche amministrative, che possono esulare dalla dimensione chimico-tossicologica dell'inquinamento dell'area. Da ciò consegue che spesso la definizione amministrativa dell'area inquinata (nei SIN i Comuni interessati dall'inquinamento) e dell'inizio temporale dell'inquinamento, sia diversa sostanzialmente da quella reale. Per condurre studi sull'impatto sanitario delle pressioni ambientali è quindi necessaria una prima istruttoria per definire le reali dimensioni spaziali e temporali dell'inquinamento. La caratterizzazione ambientale dovrebbe individuare un profilo di pericolo, sulla base del quale pianificare le indagini epidemiologiche di prima generazione. Ad essa andrebbe associata la ricerca e l'acquisizione di ulteriori informazioni ambientali e territoriali che descrivano il processo di antropizzazione a cui

è sottoposta l'area in esame. Esse dovrebbero riguardare vari ambiti come le caratteristiche geomorfologiche e naturalistiche dell'area, l'uso del suolo, le attività produttive, le infrastrutture, le componenti demografiche e sociali e gli stili di vita delle popolazione residenti. Gran parte di queste informazioni sono oggi facilmente reperibili grazie alla larga diffusione nei vari settori (territoriali, ambientali, sociali, sanitari, ecc.) di flussi informativi comprendenti oltre alla componente descrittiva anche la componente spaziale, ovvero la georeferenziazione. Un GIS consentirebbe di associare dati di natura diversa, purché riferiti allo stesso ambito geografico.

5.2 SITI INQUINATI IN SICILIA

Le aree dichiarate dalla normativa nazionale e regionale “ad elevato rischio di crisi ambientale” e “Siti di interesse Nazionale per le Bonifiche” (SIN) in Sicilia sono rappresentate dai comuni localizzati in prossimità dei poli industriali di Augusta-Priolo (SR), di Gela (CL) e di Milazzo (ME),

caratterizzati dalla presenza di impianti petrolchimici e di raffinerie ³⁴ In queste aree sono presenti 5 raffinerie, che lavorano circa il 40% del greggio, arrivato o prodotto in Italia, pari a 43 milioni di tonnellate annue. Oltre alle emissioni delle raffinerie e delle altre industrie va considerato anche il danno derivante dal traffico su gomma o tramite navi che ne può derivare. E' stato calcolato ad esempio che oltre il 40% degli sversamenti di idrocarburi nel Mediterraneo sono causati dalle operazioni di routine delle navi, mentre il 21% risulta causato da incidenti di piccola, media e grande rilevanza. Le cause del restante 37% non sono definite. ³⁵

In Sicilia tra i siti di interesse nazionale per le bonifiche vi è anche il sito di Biancavilla (riconosciuto come SIN dalla Legge 468/2001 e dal D.M. 08/07/2002 G.U. n. 231 del 02/10/2002), che si differenzia dagli altri per la peculiarità di non essere ubicato in prossimità di poli industriali, ma

34 Legge n. 426 del 9 dicembre 1998. Nuovi interventi in campo ambientale. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 291 del 14 dicembre 1998. Decreto dell'Assessore Regionale per il Territorio e l'Ambiente del 4 settembre 2002. Gazzetta Ufficiale della Regione Siciliana n. 48 del 18 ottobre 2002.

Decreto Ministeriale 18 settembre 2001, n. 468 - Programma nazionale di bonifica e ripristino ambientale. Supplemento. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 13 del 16 gennaio 2002.

35 International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF) www.itopf.com

riconosciuta SIN per la presenza di una cava da cui si estraeva pietrisco lavico contenente fibre simili a quelle dell'amianto. L'individuazione di questo sito è avvenuta grazie ad uno studio geografico sullo stato di salute nella regione Sicilia, che ha evidenziato nella cittadina etnea un'anomala concentrazione di mortalità per mesotelioma pleurico, tumore maligno fortemente associato ad esposizione ad amianto. E' un caso paradigmatico di come da uno studio geografico, anche se solo descrittivo, possano scaturire indagini con rilevanti ricadute sul piano sanitario.³⁶

Nel prosieguo approfondirò comunque le caratteristiche dei siti prossime ai poli industriali. In queste aree, le informazioni sul quadro di contaminazione ambientale hanno determinato un aumento della percezione del rischio sanitario da parte della popolazione residente. Già negli anni '90 infatti per alcune di queste aree erano state condotte analisi epidemiologiche, che utilizzavano la sola mortalità come indicatore di salute³⁷. La recente disponibilità della base dei dati sui ricoveri ospedalieri

36 Comba P, Gianfagna A, Paoletti L. Pleural mesothelioma cases in Biancavilla are related to a new fluoro-edenite fibrous amphibole. Archives of environmental health 2002;58(4):229-232

37 Martuzzi M., Mitis F., Biggeri A., Terracini B., Bertollini R., Ambiente e Stato di Salute nella popolazione delle aree ad alto rischio di crisi ambientale in Italia. Epidemiologia e Prevenzione 2002; 26(6) suppl:1-53

ha permesso di ampliare gli strumenti della sorveglianza epidemiologica. Le istituzioni preposte al monitoraggio ambientale e gli organi di sanità pubblica sono stati chiamati quindi sempre più spesso a far fronte alle pressanti richieste di conoscenza dello stato di salute da parte delle comunità locali.

Le elevate emissioni in atmosfera, che derivano da questi impianti, e i risultati degli studi epidemiologici condotti richiedono un'azione indifferibile di prevenzione e riduzione dell'impatto ambientale e sanitario sulla popolazione e sul territorio circostante. È urgente e indispensabile realizzare un adeguato sistema di controllo delle emissioni e di monitoraggio continuo, specie per microinquinanti, di cui in aree a così forte pressione ambientale è comprovata la rilevante presenza e di cui sono note le ricadute negative sulla salute. Tra l'altro occorre attuare piani di azione in applicazione della Direttiva 96/61/CE. La mancanza di un Piano di Tutela e Risanamento della qualità dell'Aria costituisce una grave omissione; per questa inadempienza l'Unione Europea ha avviato una procedura d'infrazione nei confronti dell'Italia.

Bisogna inoltre che, parallelamente all'applicazione delle migliori tecnologie negli impianti industriali - finalizzata a ridurre emissioni,

consumi e rischi -, si programmino gli interventi sul territorio per depotenziare gli impatti sanitari ed ambientali.

Uno strumento importante per ridurre l'impatto ambientale delle attività produttive è costituito dall'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA), prevista dal decreto legislativo 59/2005 di recepimento della direttiva europea IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) sulla prevenzione e il controllo integrato dell'inquinamento industriale. Purtroppo il rilascio dei pareri da parte della Commissione AIA nazionale e l'emanazione dei decreti di autorizzazione da parte del Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare procede con molta lentezza, nonostante la procedura d'infrazione, scattata a maggio 2008, per non aver rispettato la scadenza del 30 ottobre 2007, prevista dalla direttiva europea, per rilasciare le nuove autorizzazioni a tutti gli impianti industriali e adeguarli alla normativa comunitaria, trasformatasi successivamente in parere motivato e recentemente in ricorso alla Corte di giustizia europea.

L'autorizzazione integrata ambientale (AIA), rilasciata dalla Commissione Istruttoria AIA-IPPC, ha come finalità la riduzione, il controllo e il monitoraggio degli inquinanti prodotti dagli impianti industriali presenti sul territorio nazionale. Tale autorizzazione è

obbligatoria per tutte le aziende che rientrano nella direttiva IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) per continuare la produzione senza incorrere in sanzioni amministrative o penali. Al 7 marzo 2010, su 191 impianti in istruttoria nazionale, soltanto per 41 è stata rilasciata l'autorizzazione integrata ambientale dal Ministero dell'Ambiente, per 143 il procedimento di AIA non si è ancora concluso, mentre per 7 è in corso il procedimento VIA (Valutazione d'impatto ambientale) e AIA. Si consideri poi che su 41 autorizzazioni rilasciate dal Ministero dell'Ambiente, 10 riguardano nuovi impianti e solo 31 siti produttivi esistenti, che quindi, verosimilmente non si avvalgono delle soluzioni tecniche più innovative per mitigare l'impatto ambientale

5.3 L'AREA INDUSTRIALE DI GELA (CL)

Nel 1960, con la scoperta di alcuni pozzi di petrolio, ha inizio la costruzione del petrolchimico di Gela, che fu completata due anni dopo. Soggetto negli anni a continui ampliamenti, oggi è uno dei siti più grandi a livello europeo: si estende ad est della città tra il fiume Gela (a ovest), la spiaggia (a sud) e un'ampia area agricola (ad est). Il collegamento via mare è fornito da un pontile con diga di protezione lungo circa 2.900 m e largo

10 m che consente l'attracco simultaneo di 6 petroliere. Un sistema di boe, a 5.400 m dalla costa, è riservato a navi fino a 80.000 tonnellate.

Il petrolchimico di Gela ospita varie società, tra cui Raffineria di Gela, Polimeri Europa, Syndial, Enichem, Agip Petroli, ecc. Lo stabilimento, nel complesso, lavora circa 5,5 milioni t/a di greggio e residui, oltre al metano proveniente via gasdotto da Gagliano (Enna) e dall'Algeria. Sono inoltre presenti un'azienda di produzione di fosfogessi, dei centri di stoccaggio di oli, delle discariche di rifiuti industriali ed aree utilizzate per l'estrazione di materiali inerti; sono stati infine censiti 47 luoghi di abbandono abituale di rifiuti

I servizi fondamentali e il fabbisogno energetico (Centrale termoelettrica, CTE) sono forniti da Agip Petroli. La CTE, costituita da 5 caldaie di cui 3 multicom bustibile (compreso combustibile solido), ha una potenza termica nominale di 1691 MW termici (252 MWe) ed è l'unico caso di centrale a cui è stata concessa l'autorizzazione - tramite Decreto legge - per l'impiego di pet-coke³⁸. Vengono inceneriti circa 900.000 t/a di

38 Con il termine coke di petrolio, o pet-coke, si indica il residuo solido che si ottiene dal coking, un processo di raffineria nel quale, mediante piroschissione e successive reazioni di ricombinazione, frazioni petrolifere pesanti vengono convertite in prodotti leggeri (gas e benzine), distillati medi e coke residuo.

pet-coke (oltre 2500 t/g), a cui corrispondono, nonostante il sistema di abbattimento SNOX, emissioni pari a 13.000 t/a di SO₂ e 3.300 t/a di NO_x.

A tutt'oggi le popolazioni locali non sono nelle condizioni di avere un quadro trasparente ed esauriente delle emissioni di diossine, IPA, metalli pesanti (Pb, Ni, As, Cd, Hg, ecc.) emessi in atmosfera semplicemente perché non monitorati costantemente ed adeguatamente dalle autorità competenti. Di certo a Gela insiste una raffineria pensata e progettata per trattare greggi scadenti, pesanti e ricchi di zolfo in un contesto tecnologico dedicato alla massimizzazione di profitti, senza sostanziali azioni di contenimento e mitigazione degli impatti.

Uno studio condotto dall'Oms ha affermato: «si registra nell'intera area, un aumento di rischio di contrarre un tumore polmonare tra gli uomini per le generazioni più giovani (...) per l'accumularsi di effetti sulla salute legati ad esposizioni professionali nei decenni passati».

Infatti l'insieme delle esposizioni, che si verificano durante la raffinazione del petrolio, è stato classificato come probabile cancerogeno

Esistono tre tipi di coking con cui, in funzione delle caratteristiche dell'alimentazione e del tipo di impianto stesso, si possono produrre varie tipologie di coke di petrolio qualitativamente diverse l'una dall'altra.

per l'uomo (classe 2A) dallo Iarc, l'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro, soprattutto per quel che riguarda il tumore polmonare, quello linfomatopoiético, alla vescica e le leucemie

Per quanto attiene alle bonifiche, ciò che è stato realizzato fin'ora sono i doppi fondi ai serbatoi per gli idrocarburi e le barriere per evitare che le sostanze tossiche nei terreni sotto l'area industriale continuino a disperdersi nelle acque del mare e di falda. Infine, per ridurre le emissioni di ossidi di azoto in atmosfera è stato installato un sistema SNOx, il secondo realizzato al mondo dopo quello entrato in esercizio nel 1991 in Danimarca. Il processo SNOx, sviluppato dalla società danese Haldor Topsoe in collaborazione con Snam Progetti, è ritenuto idoneo alla rimozione degli ossidi di azoto (NOx) e degli ossidi di zolfo (SOx) dai fumi. Sull'efficacia non si hanno però molte evidenze.

Bisognerebbe quindi essere più lungimiranti, coniugando la sfida ambientale al rilancio economico ed occupazionale dell'area, trovando soluzioni tecniche in grado di fornire alternative ambientalmente ed economicamente valide, soprattutto all'incenerimento di pet-coke.

Alcune delle soluzioni prospettate sono: ³⁹

1. upgrade della raffineria per introduzione della tecnologia EST (Eni Slurry Technology), che evita la produzione di pet-coke, incrementando le rese in gasoli e benzine del 14% e quindi rendendo inutile l'impianto di coking;

2. sostituzione delle attuali caldaie, impiegate nella CTE, con un sistema di gassificazione del pet-coke mediante processo IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle). La tecnica IGCC è intrinsecamente a basso impatto ambientale per due motivi: A) il combustibile (solido o liquido) è gassificato ad alte temperature e pressione nel primo stadio; il gas ottenuto è purificato e sottratto di alcuni dei suoi componenti, è costituito da syngas (H₂ e CO), quindi inviato al secondo stadio di combustione. B) le ceneri di combustione si presentano sottoforma di residuo vetroso inerte utilizzabile in alcune applicazioni stradali;

3. altra possibile soluzione si avvale di GTL (Gas To Liquid), un processo che combina la gassificazione di qualsiasi combustibile organico (tar, pet-coke, biomasse, carbone, cdr, gas naturale, ecc.), da cui ottenere

³⁹ Legambiente: Mal'aria 2010

syngas, e il processo di sintesi catalitica fischer-tropsch, da cui si ottengono idrocarburi liquidi ad elevatissima purezza, di cui è nota la composizione quali-quantitativa. Eni Tecnologie, in collaborazione dell'istituto di ricerche francese IFP, ha sviluppato un impianto sperimentale nel sito di Sannazzaro (PV).

Le soluzioni sopra prospettate, non solo arrecherebbero benefici ambientali e sanitari, ma migliorerebbero la competitività tecnologica ed economica della raffineria di Gela, garantendone un ulteriore sviluppo con positive ricadute occupazionali. Inoltre, le tecniche e tecnologie necessarie all'implementazione delle soluzioni indicate, sono state sviluppate dagli stessi centri di ricerca dell'ENI. Pertanto, si tratterebbe di implementare a Gela le migliori tecniche di cui ENI già dispone.

5.4 L'AREA INDUSTRIALE DI AUGUSTA - PRIOLO - MELILLI (SR)

Il Sito di Interesse Nazionale (SIN) di Priolo è ubicato nel territorio dei Comuni di Augusta, Priolo Gargallo, Melilli e Siracusa. Fin dal 1990, la zona è stata dichiarata "Area di elevato rischio di crisi ambientale", mentre

nel 1995, con Decreto del Presidente della Repubblica, è stato approvato il “Piano di disinquinamento per il risanamento del territorio della provincia di Siracusa - Sicilia Orientale”. All’interno del SIN di Priolo sono inclusi: un polo industriale costituito da grandi insediamenti produttivi, prevalentemente raffinerie, stabilimenti petrolchimici, centrali di produzione di energia elettrica e cementerie; l’area marina antistante comprensiva delle aree portuali di Augusta e Siracusa; numerose discariche di rifiuti anche pericolosi; lo stabilimento ex Eternit di Siracusa; le aree umide delle Saline di Priolo e Augusta.

Impianti presenti sull’area in esame sono: ERG MED impianti Nord e ERG MED impianti Sud (raffinazione petrolio); Esso Italia (raffinazione petrolio); Condea/Sasol (produzione prodotti derivati dal petrolio); Somicem (terminal e stoccaggi petroliferi); Maxcom (stoccaggi e movimentazione prodotti petroliferi); Air Liquide (produzione gas tecnici); Syndial (ex Enichem - Chimica); Polimeri Europa (Chimica); Ex Eternit (produzione manufatti in cemento - amianto); Cogema/Sardamag (produzione di magnesite); UNIMED - Cementeria di Augusta (ex Buzzi Unicem -Produzione cemento); Enel (Augusta e Priolo -Produzione energia

elettrica); Isab Energy (Produzione di energia); IAS (Trattamento acque); Stabilimento SASOL Augusta (produzione prodotti chimici di base).

A livello regionale il siracusano insieme alle altre due aree a elevato rischio di crisi ambientale siciliane, Gela - Caltanissetta (Butera, Gela e Niscemi) e il Comprensorio del Mela - Messina (Condrò, Gualtieri Sicaminò, Milazzo, Pace del Mela, San Filippo del Mela, Santa Lucia del Mela e San Pier Niceto) contribuiscono per oltre il 90% delle emissioni di metalli (arsenico, cadmio, mercurio e nichel) a livello regionale, emessi principalmente dalla combustione nell'industria energetica.⁴⁰

Dal Rapporto annuale 2009 sulla qualità dell'aria (dal 01.01.09 al 31.12.09) redatto dalla Provincia Regionale di Siracusa risulta che lo stato della qualità ambientale mostra importanti problematiche. Malgrado siano diminuite le emissioni di macroinquinanti, in particolare di SO₂, NO_x e polveri grossolane, non sono ancora disponibili i dati sui microinquinanti, in particolare sugli IPA, metalli pesanti e diossine, nonostante questi siano tipici inquinanti delle aree industriali. Secondo il rapporto a Priolo sono risultati 153 superamenti della media trioraria del limite di 200 µg/mc per

40 Dati dell'Inventario regionale delle emissioni in aria ambiente al 2005 e in fase di aggiornamento al 2007

gli idrocarburi (NMHC), altri 172 a Priolo Scuola e 81 a Scala Greca. Una delle cause principali degli sforamenti è attribuibile al fatto che dai numerosi impianti di produzione fuoriescono ogni anno decine di migliaia di tonnellate di idrocarburi sotto forma di vapore (le cosiddette emissioni diffuse).

Nell'ambito delle procedure di ottenimento dell'Aia (Autorizzazione ambientale Integrata), le aziende hanno dichiarato di adottare misure per ridurre tali emissioni. Lo dichiarano fin dal 1995, anno di approvazione del Piano di Risanamento Ambientale, ma ad oggi continuano a registrarsi elevate emissioni e superamenti. È il caso per esempio degli 11 superamenti di SO₂ registrati a S. Cusumano, nel territorio di Augusta, il cui limite orario è di 350 µg/mc. Il 7 aprile 2009, per 4 ore consecutive sono stati registrati livelli di SO₂ pari a 590, 731, 743 e 721 µg/mc (il DM 60 del 2002 stabilisce come soglia di allarme il valore di 500 microgrammi/metro cubo registrati per tre ore consecutive) e nonostante ciò non è entrata in funzione alcuna delle misure previste dal Decreto Regionale ⁴¹. Infatti per poter far scattare le procedure di riduzione delle

41 Decreto n. 7 del 14/06/2006 Ufficio Speciale Aree a Rischio, predisposto in considerazione delle nuove disposizioni di legge e nelle more dell'adozione da parte della Regione dei piani d'azione

emissioni o di cambio di combustibile o di fermata degli impianti, i superamenti devono essere registrati in due diverse stazioni e non in una soltanto.

Inoltre, nel corso del 2009, si sono registrate 15 situazioni di allarme di II livello per inversione termica e 4 per ozono in contemporanea al superamento del livello di 200 $\mu\text{g}/\text{mc}$ di idrocarburi. Si tratta di una situazione che per legge non dovrebbe verificarsi più di una volta a mese ⁴², e invece si sono registrati due episodi nel mese di giugno. La stessa prescrizione varrebbe per l'ozono, ma nella stazione di Melilli è stato sfiorato il limite di legge per quattro volte nel mese di marzo e due volte a maggio, giugno e luglio. Ancora per l'ozono, il valore obiettivo a lungo termine di 6.000 $\mu\text{g}/\text{mc}$ per la protezione della vegetazione è stato di gran lunga superato ad Augusta (9.944 $\mu\text{g}/\text{mc}$) a Melilli (45.503 $\mu\text{g}/\text{mc}$) e S. Cusumano (16.523 $\mu\text{g}/\text{mc}$).

previsti dal D.Leg.vo n. 351/99, costituisce “Intervento di risanamento della qualità dell'aria nell'ambito del piano di risanamento ambientale dell'area a rischio della Provincia di Siracusa”.

⁴² Decreto del Dirigente dell'Ufficio speciale “Aree ad elevato rischio di crisi ambientale” N.07 del 14 giugno 2006 pubblicato sulla G.U.R.S. n.39 del 18/08/06 20

Ad oggi, si è ancora lontani dal raggiungimento di obiettivi di accettabilità e di qualità dell'aria. Permangono infatti situazioni critiche che destano preoccupazione sia per la loro conclamata cronicità - si pensi alle emissioni di idrocarburi, PM10, NO2, NOx e ozono - e sia per i possibili effetti acuti (SO2).

5.5 L'AREA INDUSTRIALE DI MILAZZO (ME) E DELLA VALLE DEL MELA

L'area dichiarata a rischio ambientale della Valle del Mela (Me) comprende complessivamente 7 comuni: Milazzo, San Filippo del Mela, Pace del Mela, Santa Lucia del Mela, Condrò, San Pier Niceto, Gualtieri Sicaminò. All'interno dei territori comunali di Milazzo e di San Filippo Mela, lungo la costa, si estende un'ampia area industriale, caratterizzata dalla presenza di un importante polo industriale e perimetrata come Sito d'interesse nazionale (SIN) da bonificare.

Le principali sorgenti puntuali di inquinamento di origine industriale sono riconducibili alla raffineria, alle due centrali termoelettriche, ad un centro di recupero di piombo da batterie esauste ad un'acciaieria e ad altre

piccole industrie che hanno determinato notevoli danni ambientali con ripercussioni di carattere epidemiologico sull'intera Valle del Mela.

Il polo petrolifero comprende un impianto di raffinazione del greggio - la Raffineria Mediterranea - che si estende su un'area di 212 ettari, sulla costa est adiacente alla città di Milazzo, e ricade per il 60% nel territorio del Comune di Milazzo e per il 40% nel territorio del Comune di San Filippo del Mela. La raffineria produce GPL per automobili e per riscaldamento, benzina per automobili, kerosene per aerei e per riscaldamento, gasolio per automobili a basso e bassissimo tenore di zolfo, gasolio da riscaldamento, olio combustibile per la centrale termoelettrica Edipower, per le navi e per riscaldamento e prodotti per altre industrie. Tutti i prodotti della Raffineria vengono inviati sui mercati (alle stazioni di servizio e alle altre industrie) mediante autobotti o mediante navi cisterna. La movimentazione dei prodotti in entrata ed uscita avviene prevalentemente (85%) via mare, tramite due pontili situati all'interno della stessa raffineria, in grado di ricevere petroliere sino a 420.000 t di stazza. Oltre agli impianti di produzione esistono anche altri impianti ausiliari come l'impianto di depurazione delle acque di scarico e un sistema di torce a combustione controllata che permette lo scarico in sicurezza degli

impianti. Ha presentato la proposta di caratterizzazione ambientale ai sensi del DM 471/99 e del D. Lgs 152/2006; inoltre è in corso l'istruttoria ai fini dell'ottenimento dell'autorizzazione integrata ambientale (AIA, ai sensi della direttiva 96/61/CE).

La centrale termoelettrica di Milazzo è a cogenerazione di elettricità e calore di processo con ciclo combinato con turbina a gas e turbina a vapore. Ha presentato istanza per l'ottenimento dell'AIA. La Centrale Termoelettrica di Milazzo è di proprietà della società Termica Milazzo S.r.l., costituita nel 1993 da Sondel S.p.A., ora Edison S.p.A., e da Eni S.p.A., con quote di partecipazione rispettivamente del 60% e del 40%, al fine di sviluppare un rapporto collaborativo per la fornitura di vapore e di acqua dissalata alla Raffineria di Milazzo e per la produzione di energia elettrica. La società Termica Milazzo è parte del Gruppo Edison. Il sito è ubicato nel Comune di Milazzo, a circa 1 km dal mare lungo la costa settentrionale della Sicilia. La Centrale Termoelettrica occupa un'area di circa 54.000 m², sita all'interno dell'Area di Sviluppo Industriale di Milazzo-Giammoro.

Invece, l'area della ex Centrale Enel, ora Edipower, interamente ricadente sul territorio del Comune di San Filippo del Mela, con una

superficie di circa 80 ettari, è stata utilizzata a partire dagli anni sessanta per la produzione di energia elettrica con utilizzo di olio combustibile denso. La centrale è composta da 6 unità di generazione, di cui 2 da 320 MW e 4 da 160 MW, per una potenza installata totale di 1.280 MW. Ogni sezione è composta da una caldaia con relativi ausiliari (ventilatori, bruciatori, riscaldatori d'aria, soffiatori, ecc.). Sono in corso di ultimazione i lavori per la bonifica del terreno e delle falde acquifere, mentre ha ottenuto il Decreto AIA per l'adeguamento dei gruppi alla normativa 96/61/CE.

Le emissioni in atmosfera nel territorio del Comprensorio del Mela sono generate essenzialmente da sorgenti fisse e da sorgenti mobili (trasporti terrestri e marittimi). Le sorgenti fisse sono soprattutto complessi industriali presenti sul territorio: impianto di raffinazione (Raffineria Mediterranea) e centrali termoelettriche (Edipower e Società Termica di Milazzo S.p.a). A queste si aggiunge il contributo di un rilevante numero di medie e piccole industrie nella cosiddetta "area ASI", che si allunga sul litorale ad est di Milazzo.

Secondo i dati ricavati dall'Inventario Nazionale delle Emissioni e delle loro Sorgenti (INES), le emissioni relative al 2006 rilasciate dalla

Raffineria di Milazzo sono state di 1,8 milioni di tonnellate di anidride carbonica (CO₂), 2.725 t di ossidi di azoto (NO_x), circa 7 mila tonnellate di ossidi di zolfo (SO_x) per citare solo le principali. A queste si aggiungono i metalli pesanti quali Nickel (1 tonnellata), Cromo e Zinco oltre ai composti organici volatili non metanici. Sempre nel registro sono riportate anche le emissioni della Centrale Termoelettrica di S. Filippo del Mela, che sono pari a oltre 3 milioni di tonnellate di CO₂, oltre 3.086 t di ossidi di azoto e 8.700 circa di ossidi di zolfo e 1,6 tonnellate di nichel. Altra fonte di emissione di inquinanti è la Centrale termoelettrica di Milazzo con 557 mila t di CO₂ e 107 t di ossidi di azoto.

PARTE III

EVIDENZE EPIDEMIOLOGICHE DI RISCHIO CANCEROGENO

6 EVIDENZE EPIDEMIOLOGICHE DI RISCHIO CANCEROGENO IN PROSSIMITA' DI POLI INDUSTRIALI

Questo excursus delinea brevemente i risultati di alcuni studi volti a stabilire una relazione tra l'esposizione lavorativa e/o residenziale ad inquinanti in poli industriali e l'insorgenza di malattie tumorali, che rappresentano uno tra i maggiori rischi percepiti dalle popolazioni.

Nel 1989 l'Agencia Internazionale per la Ricerca sul Cancro classifica come “probabilmente cancerogene per l'uomo (Gruppo 2A)” le esposizioni professionali presenti nella raffinazione del petrolio ⁴³; tale

43 International Agency for Research on Cancer. Occupational exposures in petroleum refining. IARCMonographs 1989;25

valutazione si basa su evidenza limitata per tumore della cute e leucemia nell'uomo.

Una metanalisi di studi condotti nelle industrie chimiche ha segnalato, tra i soggetti professionalmente esposti, un eccesso da debole a moderato per il tumore del polmone e un incremento pari al 10-15% per i tumori del tessuto linfoematopoietico ⁴⁴

Un'analisi di incidenza (anni 1974-91) estesa intorno alle undici raffinerie della Gran Bretagna, mostra una debole associazione positiva per il linfoma non Hodgkin ⁴⁵.

Uno studio sulla mortalità per leucemia fino a 15 anni di età (anni 1953-80) per l'intera Gran Bretagna, analizzata per gradiente di distanza da siti industriali, ha misurato un eccesso relativo di leucemia in prossimità di

44 Greenberg RS, Mandel JS, Pastides H, Britton NL, Rudenko L, Starr TB. A Meta-Analysis of Cohort Studies Describing Mortality and Cancer Incidence among Chemical Workers in the United States and Western Europe. *Epidemiology* 2001;12:727-40

45 Wilkinson P, Thakrar B, Walls P, Landon M, Falconer S, Grundy C, Elliott P. Lymphohaematopoietic malignancy around industrial complexes that include major oil refineries in Great Britain. *Occup Environ Med* 1999;56:577-80

stabilimenti di raffinazione e di stoccaggio di petrolio e industrie chimiche⁴⁶.

Uno studio caso-controllo per linfoma non Hodgkin in uomini e donne condotto in 8 province canadesi nel periodo aprile 1994-dicembre 1996 ha ricostruito la storia residenziale dei soggetti ed ha calcolato, dal 1960 all'inizio degli anni '90, la distanza da diversi tipi di impianti industriali sulla base di un database nazionale. Per gli impianti di raffinazione del petrolio il rischio (calcolato come OR) aumenta al diminuire della distanza; tra coloro che hanno risieduto entro 3,2 km il rischio aumenta al crescere della durata della residenza⁴⁷.

A Taiwan, uno studio caso-controllo di popolazione ha analizzato l'associazione tra la residenza in prossimità di industrie petrolchimiche e il rischio di leucemia in soggetti di età fino a 29 anni. Ad ogni soggetto sulla base della georeferenziazione delle residenze e degli stabilimenti è stato assegnato un *exposure opportunity score*, misura integrata di esposizione

46 Knox EG, Gilman EA. Hazard proximities of childhood cancers in Great Britain from 1953-80. *J Epidemiol Comm Health* 1977;51:151-9

47 Johnson KC, Pan S, Fry R, Mao Y. Residential Proximity to Industrial Plants and Non-Hodgkin Lymphoma. *Epidemiology* 2003;14:687-93

che tiene conto di mobilità, durata di ogni residenza, distanza dallo stabilimento, direzione prevalente dei venti e fonti di emissione. Per i soggetti fino a 19 anni di età l'OR che misura l'incremento unitario dell'*exposure opportunity score* per leucemia linfoide acuta è 1,21 (IC 95% 0,89-1,65), l'OR per la leucemia è 1,54 (IC 95% 1,14-2,09) per i soggetti di 20-29 anni.⁴⁸

6.1 STUDI EPIDEMIOLOGICI REALIZZATI IN SICILIA

L'Osservatorio Epidemiologico della Regione Sicilia ha elaborato un rapporto sul rischio sanitario, avvalendosi dei dati di mortalità di fonte ISTAT, dei dati di morbosità ottenuti dall'archivio regionale delle Schede di Dimissione Ospedaliere (SDO) e infine dai registri regionali di patologia, quali il registro dei mesoteliomi e delle malformazioni congenite. In particolare sono stati analizzati i tassi di mortalità degli aa 2001-2002 e di morbosità degli anni aa 2004-2006. Ha quindi aggiornato

48 Yu CL, Wang SF, Pan PC, Wu MT, Ho CK, Smith TJ, Li J, Pothier L, Christiani DC. Residential Exposure to Petrochemicals and the Risk of Leukemia: Using Geographic Information System Tools to Estimate Individual-Level Residential Exposure. *Am J Epidemiol* 2006;164:200-7

un precedente rapporto ⁴⁹, relativo a un'analisi della mortalità per il periodo 1995-2000 e dei ricoveri ospedalieri per il periodo 2001-2003

Nell'area di Augusta-Priolo sono stati osservati eccessi di mortalità e di morbosità per le patologie tumorali negli uomini mentre nelle donne solo per i ricoveri. Limitatamente agli uomini sono stati inoltre osservati eccessi per il tumore maligno del colon e retto, di trachea, bronchi e polmoni e della pleura. Sono stati inoltre rilevati sia per gli uomini che per le donne degli eccessi di morbosità per le malattie del sistema circolatorio, in particolare le malattie ischemiche del cuore, e per le malattie respiratorie. Anche per la mortalità per malattie non tumorali, in entrambi i generi, sono stati osservati eccessi per le malattie acute dell'apparato respiratorio. E' stato infine osservato negli uomini un aumento di ricoveri per malattie croniche dell'apparato respiratorio e per malattie del rene.

Nell'area di Gela sono stati registrati eccessi di mortalità e di morbosità in entrambi i generi per il complesso dei tumori maligni - in

49 Fano V., Cernigliaro A., Scondotto S., Pollina Addario S., Caruso S., Mira A., Forestiere F., Perucci C. A. – Stato di salute della popolazione residente nelle aree ad elevato rischio ambientale e nei siti di interesse nazionale della Sicilia – analisi della mortalità (aa 1995-2000) e dei ricoveri ospedalieri (aa 2001-2003). Notiziario dell'Osservatorio Epidemiologico Regionale – Regione Siciliana, numero monografico luglio 2005.

particolare stomaco, colon e retto, laringe, trachea, bronchi e polmoni, vescica e linfomi non-Hodgkin. Sono stati inoltre osservati aumenti di ricovero per le malattie del sistema circolatorio e respiratorio, in particolare per le malattie respiratorie acute e croniche. Sono stati rilevati infine eccessi di ricovero negli uomini per la pneumoconiosi, e per le malattie del rene nelle donne.

Nelle popolazioni residenti nei comuni dell'area a rischio di Milazzo sono stati osservati eccessi di mortalità per il tumore della laringe e per le malattie del sistema circolatorio negli uomini, mentre nelle donne per le malattie respiratorie. Eccessi di ricoveri sono stati osservati negli uomini per le malattie del sistema circolatorio, in particolare le malattie ischemiche e per entrambi i generi per le malattie acute dell'apparato respiratorio.

Per quanto concerne gli studi epidemiologici realizzati a Gela, molti spunti interessanti sono emersi da uno studio retrospettivo a coorte condotta da Pasetto et al. Nella coorte professionale, costituita da quanti erano stati assunti al Petrolchimico negli anni 1960-1993 e con una durata di follow up di almeno 10 anni (latenza minima dall'assunzione), si registrava sorprendentemente un deficit nel rischio rispetto alle popolazioni di riferimento, anche per quelle patologie di maggior interesse a priori. Per

esempio il tumore polmonare, per il quale proprio nella popolazione di Gela era documentato un eccesso significativo tra i giovani adulti, mostrava un SMR di 0.68 (IC 90% 0.56-0.83). Una possibile spiegazione poteva essere il cosiddetto “effetto lavoratore sano” o il fatto che presso il Petrolchimico vigesse il divieto di fumo. Tuttavia un’analisi condotta distinguendo tra “probabili residenti” e “possibili pendolari” ha indicato un’ aumentata mortalità tra i probabili residenti. Tale dato suffraga la tesi di un possibile “rischio ambientale” ed esemplifica la necessità di realizzare studi di alto rigore metodologico⁵⁰.

50 . Pasetto R. Studio della mortalità dei lavoratori del petrolchimico di Gela: uno studio di coorte occupazionale in un sito inquinato. Tesi di Master di II livello in Epidemiologia. Università di Torino, 2007

**7 MORTALITA' IN
PROVINCIA DI MESSINA:
UNO STUDIO
GEOGRAFICO**

Obiettivo del nostro studio è stato valutare il profilo di mortalità in un'area della provincia di Messina esposta a rischio ambientale di origine sia industriale che urbano.

La base informativa è costituita dai dati ISTAT di mortalità relativi agli anni 2003-2006.

L'ultimo Rapporto dell'Osservatorio Epidemiologico regionale della Sicilia (DOE) ⁵¹ ha illustrato i dati di mortalità relativi agli anni 2001-2002 e inerenti i Comuni Siciliani compresi nell'area ad elevato rischio di crisi ambientale di Milazzo, in particolare i Comuni di Condrò, Meri, Milazzo, Pace del Mela e San Filippo del Mela con una popolazione residente totale pari a 47862 persone.

⁵¹ Stato di salute nelle aree a rischio ambientale della Regione Sicilia. A cura del Dipartimento Osservatorio Epidemiologico della Regione Sicilia. Edizione 2008

La legge 23 dicembre 2005, n. 266, ha riconosciuto come sito di bonifica di interesse nazionale (SIN) l'area industriale di Milazzo. Tuttavia la perimetrazione di tale area è stata sottoposta a varie modifiche e permangono tutt'ora alcuni dubbi. L'area attualmente individuata (D.M. 256/2006 e 308/2006) è l'area di sviluppo industriale di Milazzo e ricade nei territori dei comuni di Milazzo, San Filippo del Mela e Pace del Mela.

La zona occupa una superficie di circa 500 ha, ed è delimitata dal Mare Tirreno a nord, dal territorio comunale di Milazzo ad ovest, dalla linea FFSS ed autostrada Messina Palermo a sud e dalla frazione Giammoro (Pace del Mela).

Dalla perimetrazione del sito di interesse nazionale per le bonifiche risulta esclusa la città di Messina (popolazione residente al 1/1/2010: 242.864 persone). Tale città tuttavia sopporta un intenso traffico veicolare e ferroviario, che può essere una fonte importante di inquinanti come il PM10, che è stato dimostrato essere responsabile di una maggiore incidenza di malattie cardiovascolari e respiratorie. Lo studio MISA per esempio ha evidenziato un'associazione statisticamente significativa per

NO₂, CO e PM₁₀ e mortalità per cause cardiovascolari e i ricoveri per cause cardiorespiratorie.^{52 53}

7.1 METODI

Abbiamo analizzato i dati di mortalità relativi alla provincia di Messina, non limitandoci all'area individuata come SIN, ma estendendo l'analisi all'intera provincia (circa 5 milioni di residenti). I dati disponibili erano aggregati per distretto sanitario di afferenza e non per indirizzo. Sono state considerate la mortalità totale (ICD 0-999) e per causa specifica e si è proceduto alla distinzione per fasce d'età (0-64 anni, 65-74 anni e ≥ 75 anni).

Sono stati calcolati i rapporti standardizzati di mortalità (SMR, standardized mortality ratio), che scaturiscono dal rapporto rapporto (per 100) tra i morti osservati durante il periodo nella popolazione residente

52 Bellini P, Baccini M, Biggeri A, Terracini B. The meta-analysis of the Italian studies on short-term effects of air pollution (MISA): old and new issues on the interpretation of the statistical evidences.

Environmetrics 2007;18:1-11

53 Altavilla AM, Mondello M, Analisi della mortalità per causa nell'area a rischio ambientale di Milazzo, Convegno SIEDS, Bari 2008

nell'area di interesse ed i morti e i ricoveri attesi ottenuti applicando alla popolazione locale i tassi età-specifici delle popolazioni di riferimento.

Il tasso previsto di mortalità scelto come riferimento è quello dell'intera regione siciliana.

Per analizzare la relazione tra tassi di mortalità, età, genere e residenza, è stato usato un albero di regressione CART (acronimo di Classification And Regression Tree)⁵⁴. Questo metodo è annoverato tra le tecniche non parametriche e si è rivelato utile nelle analisi di fenomeni con una struttura informativa gerarchica, in cui i dati si presentano a più livelli: individuale, familiare, territoriale, sociale etc. In particolare, lo studio delle relazioni tra l'individuo e il contesto che lo circonda, come negli studi sul rischio sanitario nei siti inquinati, può essere ricondotto all'analisi di fenomeni a struttura gerarchica. Tale tecnica statistica può analizzare dati qualitativi (classificazione) o quantitativi (regressione), presentando i risultati nella forma di alberi di decisione. Il CART consente quindi di trattare strutture di dati molto complesse, producendo in uscita dei grafici facilmente interpretabili. Il metodo CART è un esempio di partizionamento

54 Breiman L., Friedman J.H., Olshen R.A., Stone C.J. (1984) Classification and Regression Trees, Wadsworth International Group, Belmont, California

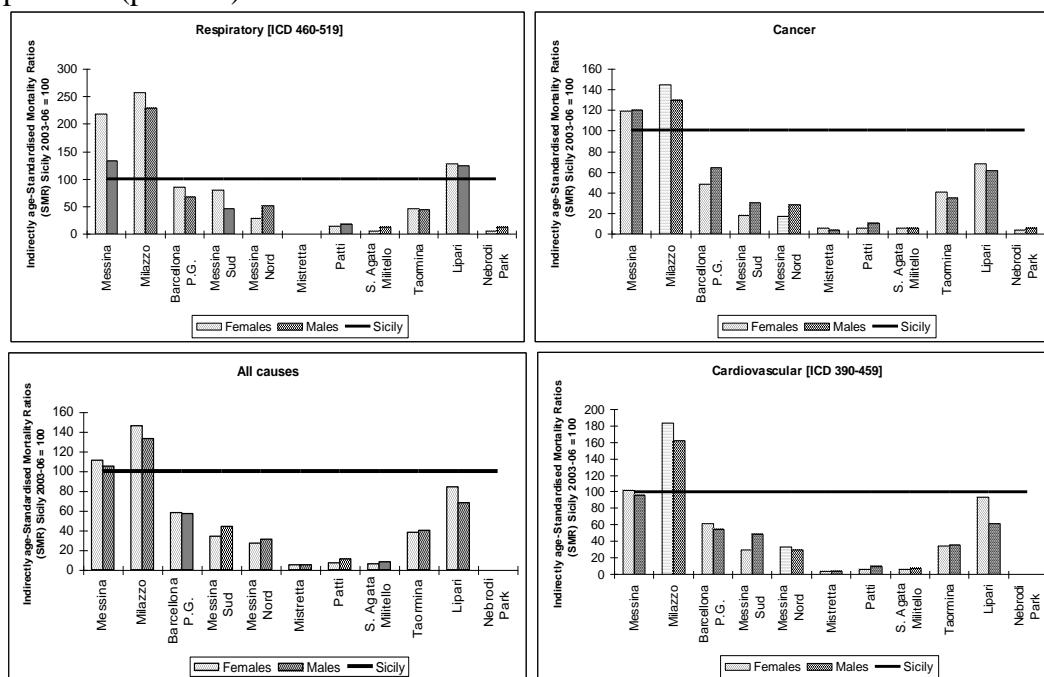
binario ricorsivo: il processo è binario in quanto un nodo genitore è bipartito in due nodi figli ed è ricorsivo perché la bipartizione può essere ripetuta, trattando ogni nodo figlio come nodo padre.). I nodi sono caratterizzati da omogeneità crescente rispetto alla variabile risposta.

7.2 RISULTATI

Come si desume dalla Fig. 1 l'analisi di mortalità per tutte le cause ha mostrato un aumento nel distretto sanitario di Milazzo, ma anche, sia pure di minore entità, a Messina città; anche la mortalità per cause tumorali risulta incrementata a Milazzo e a Messina città; la mortalità per malattie cardiovascolari mostra un notevole incremento a Milazzo (SMR 212) e un incremento più modesto a Messina solo nelle donne di età tra 0-64 anni (SMR 129); la mortalità per malattie respiratorie (ICD 460-519) mostra un incremento a Milazzo, Messina città (soprattutto nelle donne con SMR 211) ed anche a Lipari (SMR di 144). Nell'ambito dell'area di Milazzo l'analisi scomposta per Comuni ha mostrato un particolare incremento di rischio per malattie respiratorie nel Comune di San Filippo del Mela.

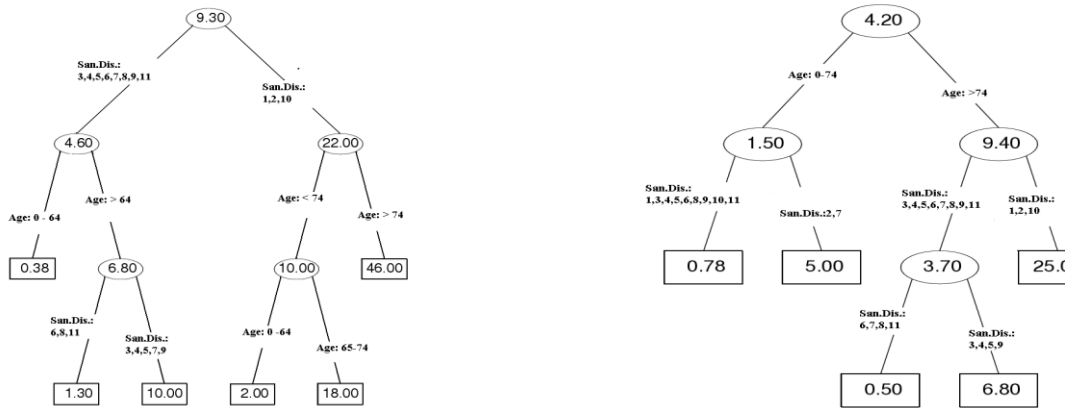
Il rischio di mortalità per cause tumorali non mostra significativi aumenti di rischio, ad eccezione dei maschi di Santa Lucia del Mela e le femmine in Spadafora e Torregrotta. La scomposizione dei dati di mortalità tumorale per sedi specifiche mostra un incremento di rischio per cancro della laringe a Milazzo e in tutti i distretti di Messina; tumori dell'apparato respiratorio a Milazzo e a Messina città.

Figura 1: Rapporti standardizzati di mortalità, SMR (standardised mortality ratio) per tutte le fasce d'età nella provincia di Messina (anni 2003-2006) per tutte le cause (panel A), malattie cardiovascolari (panel B), cancro (panel C) e malattie respiratorie (panel D).



Per contribuire a chiarire la relazione tra mortalità età, genere e residenza si è poi proceduto ad analizzare i dati con il metodo di regressione CART.

Figura 2. CART per mortalità per tumori e per malattie respiratorie



L'analisi CART conferma una segmentazione importante tra i distretti di Messina città e Milazzo da un lato e i rimanenti distretti dall'altro nei dati inerenti la mortalità per cause tumorali; per quanto riguarda invece la mortalità per malattie respiratorie emerge l'incremento nei distretti di Messina città, Milazzo e Lipari

7.3 DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Abbiamo analizzato i dati di mortalità relativi ad un'area ad elevata pressione ambientale in Sicilia, quale la provincia di Messina. I risultati

ottenuti collimano con quelli del rapporto DOE citato; tuttavia tale rapporto valutava anni precedenti e considerava solo il sito SIN di Milazzo. Estendendo l'analisi al rimanente territorio della provincia di Messina, è stato possibile rilevare eccessi di mortalità per malattie respiratorie a Messina centro e a Lipari e un live aumento della mortalità per cause tumorali a Messina. Il dato di Messina Centro potrebbe essere ascrivibile all'intenso traffico di veicoli e mezzi pesanti in città, mentre il dato di Lipari potrebbe addebitarsi alla breve distanza (circa 50 Km) dall'area industriale di Milazzo oppure all'origine vulcanica delle isole Eolie. Alcuni studi sembrano infatti rilevare eccessi di mortalità e di morbosità in aree vulcaniche.⁵⁵ Tutte queste ipotesi devono comunque essere validate da studi analitici.

Abbiamo scelto di analizzare dati di mortalità, perché la mortalità costituisce il più solido degli indicatori epidemiologici e i relativi dati sono disponibili e codificati dall'ISTAT sulla base di metodologie standardizzate predisposte a livello internazionale. Quando si parla senza altre specificazione di "dati di mortalità", si intendono i dati in cui ogni decesso

55 THE HEALTH HAZARDS OF VOLCANOES AND GEOTHERMAL AREAS A L Hansell, C J Horwell, C Oppenheimer *Occup Environ Med* 2006;63:149–156.

è riferito alla “Causa di Morte Iniziale”, che è riportata sulla scheda di morte compilata dal medico necroscopo e che individua “la malattia che, attraverso eventuali complicazioni o stati morbosi intermedi, ha portato al decesso”. La codifica è effettuata dall’ISTAT secondo le International Classification of Diseases (ICD), che vengono periodicamente aggiornate alivello internazionale, andandone a costituire le diverse “Revisioni”. Acquisiti i dati di mortalità, abbiamo calcolato i rapporti standardizzati di mortalità (SMR), onde poter individuare eccessi significativi rispetto al previsto. Come riferimento è stata scelta la Regione Sicilia, perché considerata più omogenea all’area in esame con riguardo alla deprivazione socio-economica.

Numerosi autori ⁵⁶ hanno criticato l'approccio basato sulle mappe degli SMR (standardized mortality ratio), perché suscettibile di errori derivanti dalla variabilità delle stime. Questo problema diventa particolarmente rilevante quando gli eventi osservati sono rari o le

56 Biometrics. 1987 Sep;43(3):671-81. Empirical Bayes estimates of age-standardized relative risks for use in disease mapping. Clayton D, Kaldor J.

popolazioni in cui tali eventi si registrano sono piccole^{57 58}. In tali mappe la variabilità dovuta ad errori di campionamento si mescola alla variabilità geografica, con la conseguenza che i valori estremi, potenzialmente più interessanti, appaiono nelle aree caratterizzate da popolazioni e numero di eventi piccoli, e sono dovuti all'instabilità dei valori osservati piuttosto che a una reale misura del rischio in quelle regioni. Infatti per malattie rare e aree geografiche piccole, si verifica un eccesso di variabilità detto sovradisersione.

Per ridurre la variazione casuale dei dati osservati, uno dei metodi più soddisfacenti fra quelli attualmente proposti è quello di utilizzare stime bayesiane degli indicatori che si vogliono rappresentare.^{59 60} L'approccio bayesiano di smoothing (lisciamento) prevede che oltre agli eventi

57 Bernardinelli L, Clayton DG, Monopoli C. Bayesian estimate of disease maps: how important are priors? *Statistics in Medicine* 1995;14:2411-31.

58 *Stat Med.* 1995 Nov 15-30;14(21-22):2433-43. Bayesian analysis of space-time variation in disease risk. Bernardinelli L, Clayton D, Pascutto C, Montomoli C, Ghislandi M, Songini M

59 *Stat Methods Med Res.* 2005 Feb;14(1):35-59 A comparison of Bayesian spatial models for disease mapping Nicky Best, Sylvia Richardson, Andrew Thomson

60 *Bayesian Detection of Clusters and Discontinuities in Disease Maps (2000)* by Leonhard Knorr-Held, Günter Raßer *Biometrics*

osservati in ciascuna area, si tenga conto anche di informazioni relative alla distribuzione degli indicatori di malattia nell'intera regione. In particolare, i rischi da stimare si suppongono generati da una distribuzione di probabilità, detta distribuzione a priori, la quale esprime generalmente conoscenza e opinioni soggettive.

Inoltre l'approccio bayesiano può considerare la sottostante struttura spaziale, quale potrebbe essere la somiglianza di aree geograficamente vicine. Infatti, per ottenere lo smussamento delle stime dei rischi, si introduce attraverso la distribuzione a priori una tendenza dei rischi relativi specifici per area a non differire troppo gli uni dagli altri. Questa idea corrisponde, nella visione bayesiana, all'idea che i rischi relativi siano variabili casuali generate da una distribuzione a priori comune. In piccole aree, quali sono i comuni di una regione italiana, le conoscenze a priori dovrebbero così tenere conto della sottostante struttura spaziale locale nella variabilità del rischio, e in particolare includere l'informazione che aree geograficamente vicine tendono ad avere rischi relativi simili. Tale modello è particolarmente adatto in presenza di ipotesi a priori riguardanti l'esistenza di aggregazioni spaziali formati da aree ad alto o a basso rischio

(Clayton D, Bernardinelli L⁶¹). L'effetto della distribuzione a priori dei rischi è produrre per ogni area una stima del rischio che rappresenti un compromesso corretto fra l'SMR specifico per area ed un valore di riferimento. Il valore di riferimento per ogni singola area è dato dalla media dei rischi delle aree adiacenti. Le stime dei rischi relativi vengono 'spostate' verso il valore di riferimento in misura tanto maggiore quanto più sono instabili. Si evita perciò che aree caratterizzate da un basso numero di eventi, che tendono a produrre valori estremi inaffidabili, presentino stime del rischio estreme. Le mappe stimate risultano dunque smussate, prive dei valori estremi e più attendibili da un punto di vista epidemiologico.

Nella lettura dei risultati e nella scelta della popolazione di confronto, bisogna considerare anche che, aree ad elevata pressione ambientale potrebbero avere alti livelli di deprivazione materiale. Per ovviare a questo fattore confondente, diversi autori hanno proposto la standardizzazione per indice di deprivazione materiale⁶², che ci

61 Int J Epidemiol. 1993 Dec;22(6):1193-202. -Spatial correlation in ecological analysis. Clayton DG, Bernardinelli L, Montomoli C.-Medical Research Council Biostatistics Unit, University Forvie Site, Cambridge, UK.

62 Carstairs V. Deprivation indices: their interpretation and use in relation to health. J Epidemiol Community Health 1995;49(S2):3-8.

ripromettiamo di effettuare in una successiva analisi. L'indice di deprivazione materiale è stato usato insieme con altre variabili socio-economiche, indicatori di reddito o classe sociale, indicatori di scolarità, per documentare l'ampiezza dei differenziali sociali di mortalità, prevalenza o incidenza di malattia. E' stato infatti dimostrato che la geografia di mortalità/morbosità corrisponda alla geografia dello svantaggio sociale: così la popolazione in condizioni socio-economiche svantaggiate tende a vivere in vicinanza di fonti potenziali di emissione di sostanze nocive o in aree dove la pressione ambientale è maggiore, per

Dolk H, Mertens B, Kleinschmidt I, Walls P, Shaddick G, Elliott P. A standardization approach to the control of socioeconomic confounding in small area studies of environment and health. *J Epidemiol Community Health* 1995;49(S2):9-14.

Pearce N, Checkoway H, Kriebel D. Bias in occupational epidemiology studies. *Occup Environ Med* 2007;64:562-8.

Bell N, Schuurman N, Hayes MV. Using GIS-based methods of multicriteria analysis to construct socioeconomic deprivation indices. *Int J Health Geogr* 2007;14:6-17

Cadum E, Costa G, Biggeri A, Martuzzi M. Deprivazione e mortalità: un indice di deprivazione per l'analisi delle disuguaglianze su base geografica. *Epidemiol Prev* 1999;23:175-87.

Elliott P, Wartenberg D. Spatial epidemiology: current approaches and future challenges. *Environ Health Perspect* 2004;112:998-1006.

Bithell JF, Dutton SJ, Neary NM, Vincent TJ. Controlling for socio-economic confounding using regression methods. *J Epidemiol Community Health* 1995;49(S2):15-9.

motivi diversi, quali la prossimità ai luoghi di lavoro, la disponibilità o il costo delle abitazioni. Nello studio degli effetti sulla salute delle esposizioni ambientali il livello socio-economico si comporta pertanto come un fattore di confondimento (è associato sia alla malattia che alla esposizione in studio). L'indice di deprivazione socioeconomica ha lo scopo di controllare, sia pure in modo imperfetto, questa importante fonte di confondimento.

Abbiamo infine applicato al nostro studio il metodo di regressione ad albero, che ha confermato i dati suggeriti dagli SMR.

Nello studio sull'impatto sanitario dei siti inquinati è molto importante caratterizzare bene le fonti inquinanti, chiarire l'entità dell'esposizione; sarebbe inoltre opportuno focalizzare gli studi sui sottogruppi più vulnerabili, come i bambini, o su quelli maggiormente esposti. Individuare sottogruppi più esposti migliorerebbe la precisione delle stime; infatti all'aumentare della proporzione di esposti, diminuisce l'effetto di diluizione e con esso il numero di attesi e osservati critici,

Altro problema metodologico è quello dell'intervallo di confidenza (IC) di una "stima puntuale di rischio"; tale intervallo esprime il livello di incertezza di tale stima, dando un'indicazione sulla sua precisione. Più

ampio è l'intervallo, minore è la precisione della stima puntuale osservata. Tuttavia, se si riuscisse a formulare una specifica ipotesi a priori forte, l'interesse preminente sarebbe la verifica della direzione del rischio, più che la precisione della stima; così anche IC al 90% sarebbero utili, superando i problemi d'incertezza che caratterizzano soprattutto popolazioni poco numerose e con pochi eventi.

Tuttavia l'inadeguata disponibilità di dati ambientali, relativi alle emissioni degli impianti industriali e di altre eventuali fonti di inquinamento, ci preclude la possibilità di formulare ipotesi a priori su cause di morte o di ricovero ospedaliero per le quali ci si potrebbe attendere un eccesso in quest'area. E' necessario quindi effettuare un'adeguata caratterizzazione dell'area in esame, applicando modelli di diffusione; infatti dalla modellizzazione spaziale della diffusione degli inquinanti aerodispersi nell'area, sarà possibile individuare subaree e quindi anche sottogruppi di popolazione a maggiore esposizione, in cui concentrare la sorveglianza epidemiologica ed eventualmente eseguire indagini di biomonitoraggio. Da questi studi potranno poi scaturire più efficaci strategie di riduzione dell'esposizione e quindi di prevenzione del rischio

sanitario, nonché processi di comunicazione con le popolazioni locali contrassegnati da maggiore trasparenza.

Abbiamo così illustrato un esempio di studio descrittivo geografico. Tali studi sono utili in sanità pubblica come fonte di ipotesi, da valutare poi in studi analitici: infatti i risultati ottenuti devono essere confermati da studi successivi più analitici, che misurino la forza dell'associazione e, utilizzando dati di risoluzione più fine (sub comunali, individuali), forniscano una precisa definizione spazio-temporale del fenomeno. La disponibilità di dati a livello sub comunale, la georeferenziazione dei siti e la stima della popolazione esposta tramite i *GIS* consentirebbero studi di correlazione più approfonditi e la verifica più puntuale di precise ipotesi eziologiche.

8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Salute umana e salubrità ambientale sono tra loro strettamente correlate tanto che la tutela della salubrità ambientale si configura come una forma di prevenzione primaria di malattie a livello di popolazione.

I successi riportati negli ultimi decenni dalla genetica non ridimensionano il ruolo dell'ambiente, ma anzi hanno dimostrato che, dai geni non discendono in modo deterministico tutte le caratteristiche dell'essere umano, perché l'ambiente può modulare e influenzare l'espressione genica. Lo studio dei meccanismi etiopatogenetici alla base delle malattie impone quindi un'integrazione tra la biologia molecolare e lo studio e la valutazione dell'ambiente.

Gli aspetti più problematici nell'analisi del rapporto ambiente-salute sono:

a) L'ambiente è caratterizzato da molteplicità e variabilità delle fonti di inquinamento e di disturbo

b) Gli effetti sulla salute correlati all'ambiente sono anch'essi molteplici, spesso aspecifici e variano in tipologia, oltrechè in intensità, in

relazione all'entità dell'esposizione; molti effetti di un ambiente insalubre sulla salute si rivelano solo dopo lunghi periodi di latenza

c) La relazione tra ambiente e salute è di tipo probabilistico, non deterministico

d) Il giudizio di causalità è difficile da formulare, non solo per le ragioni fin qui esposte, ma anche per la possibile presenza di altri fattori di rischio, variamente, e in modo non noto, distribuiti nella popolazione in studio e per la variabilità delle storie residenziali individuali.

Nelle fasi iniziali di uno studio sull'impatto sanitario delle pressioni ambientali in una certa area è fondamentale la caratterizzazione territoriale, che, anche tramite i GIS, dovrebbe definire uno scenario di base che descriva le caratteristiche ambientali e geografiche dei siti contaminati e localizzi i fenomeni che hanno una rilevanza spaziale, stabilendo cosa si trovi in un luogo definito. In tal modo, tra tutti gli elementi mappati e descritti da dati alfanumerici (attributi), sarebbe possibile individuare quelli di maggior rilevanza per lo studio, sui quali indirizzare la ricerca di ulteriori e più dettagliate informazioni. La prima descrizione del territorio individuerrebbe quindi la distribuzione spaziale delle possibili fonti di rischio, della popolazione esposta e di eventuali cluster di patologia. Ciò,

oltre ad agevolare il disegno dello studio, potrebbe contribuire alla definizione di nuove ipotesi o a saggiare la validità di quelle formulate in precedenza.

Nelle fasi successive dello studio, con l'ulteriore acquisizione di dati sanitari, ambientali e socioeconomiche, verrebbe implementata una base informativa geografica sempre più completa e dettagliata. Così l'integrazione di nuove informazioni potrebbe migliorare la stima dell'esposizione con indicatori più specifici.

Molti studi ecologici si avvalgono delle statistiche correnti (mortalità, ricoveri ospedalieri, ricoverati, registri di patologia) per ricavarne valutazioni complessive sullo stato di salute delle popolazioni. Altre volte si fanno analisi in cui l'ubicazione della residenza individuale viene posta a confronto con indicatori di rischio ambientale. Le une e le altre analisi esitano nella stima di tassi, o – più comunemente – di rapporti standardizzati di mortalità o incidenza (SMR e SIR rispettivamente). Gli indicatori di esposizione devono essere scelti con rigore: dalla distanza geometrica tra residenza e presunta sorgente di inquinamento, all'uso, se disponibili, delle statistiche ambientali correnti, anche integrate da sofisticati modelli di ricaduta. La scelta del gruppo di riferimento

dev'essere oculata. Spesso è opportuno presentare due o più serie di rischi relativi, SMR o SIR, utilizzando più di un gruppo di riferimento (nessuno è ideale e spesso sono poco adeguati). Sofisticati test vengono utilizzati nell'analisi della distribuzione spaziale dei casi di malattia. Insomma, a fronte dei dati che di volta in volta sono reperibili, il rigore metodologico dev'essere alto così come la trasparenza dell'approccio statistici.

Un assunto negli studi geografici è che la popolazione dell'area unitaria sia omogenea, sia per l'esposizione in studio che per altri possibili confondenti. Svolgere quindi questi studi a livello microgeografico a scala di piccola area, diminuisce il bias ecologico, approssimando il livello individuale. In questa ottica ad es. il gruppo della Small Area Health Statistics Unit dell'Imperial College di Londra ha sviluppato sofisticate metodologie per studi su piccole aree. D'altra parte studiare piccole aree comporta problemi di numerosità delle popolazioni, con pochi casi e stime non stabili, che risulteranno quindi più suscettibili ad errori. Molto vicini a questo approccio sono gli studi sulle coorti residenziali, che indagano gli esiti sanitari a livello di gruppo, in sub-popolazioni che risiedono in prossimità di un ipotetico punto sorgente di esposizione, e che si possono ritenere omogenee al loro interno. L'interpretazione dei risultati di questi

studi, la stima dei parametri e i test di ipotesi, dipenderanno dalla forza delle ipotesi a priori.

Va inoltre considerato che questi studi vengono svolti per condividerne le interpretazioni, oltre che con la comunità scientifica, con fruitori e utilizzatori dei risultati. Essi sono l'autorità politica che deve decidere un'eventuale bonifica ambientale (o un eventuale intervento sanitario) e i residenti nella zona investigata. Nella comunicazione del rischio chi ha condotto lo studio ha alcune responsabilità aggiuntive rispetto a quelle della correttezza professionale; in particolare deve assicurarsi che gli interlocutori siano posti in condizioni di valutare autonomamente alcuni aspetti intrinseci allo studio, quali la sua potenza statistica e l'importanza della distinzione tra associazioni coerenti con una ipotesi a priori e associazioni di riscontro casuale, come sono comuni in studi che comportano un grande numero di confronti tra osservati e attesi. Occorrerebbe trovare un modo condiviso per esprimere il livello di un'associazione riscontrata e informare anche del publication bias, che penalizza gli studi che depongono per mancanza di associazione.

La consistenza dell'ipotesi a priori può essere compresa in un ambito di livelli, ad un estremo del quale sta poco più di una semplice congettura

(in inglese *hint*, o *very small trace* e *suggestion*) e all'altro estremo sta un riferimento ad associazioni molto forti e specifiche (l'esempio più adeguato rimane quello dell'associazione tra esposizione ad amianto ed eccessi di mortalità per mesotelioma pleurico). Nel mezzo stanno più o meno convincenti segnalazioni di associazioni per le quali tuttavia non è possibile escludere un ruolo del caso, di distorsioni o di confondimento.

A causa dell'insieme dei limiti a cui ogni studio epidemiologico svolto nei siti inquinati è inevitabilmente sottoposto, il singolo studio non va visto come isolato. La sua utilità va considerata nell'ambito della definizione di un framework epidemiologico, l'insieme di studi che tra di loro integrati permettono una caratterizzazione epidemiologica di area. Il framework dovrebbe avere le caratteristiche di consequenzialità e modulazione in relazione al contesto, che per ogni sito inquinato presenta caratteristiche uniche. I risultati dei singoli studi andranno considerati quindi come "indizi"; la progressiva acquisizione di informazioni può consentire di ridurre gli elementi di incertezza. Va ricordato che associazioni concordanti con cognizioni note avranno meno probabilità di essere dovute al caso rispetto ad osservazioni nuove e anche che le associazioni ipotizzabili a priori possono essere oggetto di analisi più

articolate e sofisticate. Va comunque ribadito che misure di bonifica ambientale, ove opportune, non debbono aspettare una verifica epidemiologica dell'occorrenza di malattia

Schematicamente le possibili fasi di uno studio sui siti inquinati sono: 1) definizione del profilo di pericolo 2) caratterizzazione territoriale 3) prima generazione di studi: – studi ecologici esplorativi – studi analitici per la verifica di ipotesi iniziali 4) seconda generazione di studi conseguenti anche al procedere della caratterizzazione ambientale e di quella territoriale mirate all'utilizzo ai fini di indagine epidemiologica – studi ecologici basati su ipotesi meglio definite – studi analitici per la verifica di ipotesi con valutazioni più raffinate e valide di esposizioni ed effetti. Sulla base dei risultati della caratterizzazione epidemiologica, andranno selezionati gli outcome su cui porre maggiore attenzione nella sorveglianza epidemiologica dell'area.

Il National Institute for Environmental Health Sciences (NIEHS) sostiene l'importanza di dare una maggiore importanza nella pratica della sanità pubblica agli studi basati sulle comunità, in quanto possono consentire la prevenzione di patologie che ammettano cause ambientali

anche prima di avere una completa comprensione dei soggiacenti meccanismi patogenetici.

In conclusione va sottolineato che la salute della popolazione è una dimensione importante del patrimonio complessivo di un territorio: valutare gli effetti che su di essa potrebbe avere l'attuazione di politiche, progetti, programmi concernenti l'ambiente costituisce la risposta a una domanda, spesso esplicita, della popolazione e offre ai decisori ulteriori conoscenze, utili per formulare scelte consapevoli.

In ultimo la considerazione che un'enorme quota di malattie nei Paesi poveri è attribuibile all'ambiente ed è quindi evitabile modificando le condizioni ambientali ci impone una riflessione sull'obbligo etico di quella che Amartya Sen ha chiamato "salute equa". Infatti bisognerebbe considerare non solo l'equità delle cure, ma anche e soprattutto all'equità della salute, quindi creare le condizioni affinché tutti abbiano uguali probabilità di godere di buona salute.

BIBLIOGRAFIA

Altavilla AM, Mondello M, Analisi della mortalità per causa nell'area a rischio ambientale di Milazzo, Convegno SIEDS, Bari 2008

American Society for Testing and Materials. Standard Guide for Risk-Based Corrective Action, E 2081-00. Usa: ASTM; 2000.

Bellini P, Baccini M, Biggeri A, Terracini B. The meta-analysis of the Italian studies on short-term effects of air pollution (MISA): old and new issues on the interpretation of the statistical evidences. *Environmetrics* 2007;18:1-11

Bell N, Schuurman N, Hayes MV. Using GIS-based methods of multicriteria analysis to construct socio-economic deprivation indices. *Int J Health Geogr* 2007;14:6-17

Bernardinelli L, Clayton DG, Monopoli C. Bayesian estimate of disease maps: how important are priors? *Statistics in Medicine* 1995;14:2411-31.

Bernardinelli L, Clayton D, Pascutto C, Montomoli C, Ghislandi M, Songini M Bayesian analysis of space-time variation in disease risk. *Stat Med.* 1995 Nov 15-30;14(21-22):2433-43.

Best N, Richardson S, Thomson A, A comparison of Bayesian spatial models for disease mapping *Stat Methods Med Res.* 2005 Feb;14(1):35-59

Bianchi F. Il biomonitoraggio in epidemiologia ambientale. In: Bianchi F, Comba P (Ed.) *Indagini epidemiologiche nei siti inquinati: basi scientifiche, procedure metodologiche e gestionali, prospettive di equità.* Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2006. (Rapporti ISTISAN 06/19)

Bianchi F, Biggeri A, Cadum E, Comba P, Forastiere F, Martuzzi M, Terracini B. *Epidemiologia ambientale e aree inquinate in Italia.* *Epidemiol Prev* 2006;30(3):146-152

Bianchi F, Comba P (Ed.) *Indagini epidemiologiche nei siti inquinati: basi scientifiche, procedure metodologiche e gestionali, prospettive di equità.* Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2006. (Rapporti ISTISAN 06/19)

Biggeri A, Bellini P, Terracini B. Metanalisi italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico 1996–2002. *Epidemiol Prev* 2004;28(Suppl 4-5):1-100.

Biggeri A. Il Gruppo di studio ministeriale su Radio Vaticana e il caso del “rospo ostetrico”. *Epidemiol Prev* 2001;25(6):239-244.

Bithell JF, Dutton SJ, Neary NM, Vincent TJ. Controlling for socio-economic confounding using regression methods. *J Epidemiol Community Health* 1995;49(S2):15-9.

Breiman L., Friedman J.H., Olshen R.A., Stone C.J. (1984) *Classification and Regression Trees*, Wadsworth International Group, Belmont, California

Cadum E, Costa G, Biggeri A, Martuzzi M. Deprivazione e mortalità: un indice di deprivazione per l'analisi delle disuguaglianze su base geografica. *Epidemiol Prev* 1999;23:175-87.

Carstairs V. Deprivation indices: their interpretation and use in relation to health. *J Epidemiol Community Health* 1995;49(S2):3-8.

Chen R. The relative efficiency of the sets and the cusum techniques in monitoring the occurrence of a rare event. *Stat Med* 1987;6(4):517-25.

Clayton D, Kaldor J. Empirical Bayes estimates of age-standardized relative risks for use in disease mapping. *Biometrics*. 1987 Sep;43(3):671-81.

Clayton DG, Bernardinelli L, Montomoli C.- -Spatial correlation in ecological analysis *Int J Epidemiol*. 1993 Dec;22(6):1193-202

Comba P, Gianfagna A, Paoletti L. Pleural mesothelioma cases in Biancavilla are related to a new fluoro-edenite fibrous amphibole. *Archives of environmental health* 2002;58(4):229-232

Dahlgren G., M. Whitehead, Policies and strategies to promote equity in health, WHO, 1992

D'Aprile L, Calace N. Methodological Approach for the Evaluation of Human-Health Risk at Contaminated Sites. Proceedings of the "Fourth International Conference on Remediation of Contaminated Sediments". Savannah (Georgia), January 22-25, 2007.

D'Aprile L, Tatano F, Musmeci L. Development of quality objectives for contaminated sites: state of the art and new perspectives. *International Journal of Environment and Health* 2007;1(1):120-41.

Dolk H, Mertens B, Kleinschmidt I, Walls P, Shaddick G, Elliott P. A standardization approach to the control of socioeconomic confounding in small area studies of environment and health. *J Epidemiol Community Health* 1995;49(S2):9-14.

Elliott P, Wartenberg D. Spatial epidemiology: current approaches and future challenges. *Environ Health Perspect* 2004;112:998-1006.

Fano V., Cernigliaro A., Scondotto S., Pollina Addario S., Caruso S., Mira A., Forestiere F., Perucci C. A. – Stato di salute della popolazione residente nelle aree ad elevato rischio ambientale e nei siti di interesse nazionale della Sicilia –. Notiziario dell'Osservatorio Epidemiologico Regionale – Regione Siciliana, Rapporti 2005 e 2008.

Fazzo L, Comba P. Il ruolo dei gruppi ad alto rischio nello studio delle relazioni tra ambiente e salute Ann. Ist. Sup. Sanità 2004;40(4):417-426

Fortino, Gandura Sistemi informativi geografici: le prospettive in sanità pubblica. Careonline 2006

Gallus G, Radaelli G, Marchi M. Poisson approximation to a negative binomial process in the surveillance of rare health events. *Methods Inf Med* 1991;30(3):206-9.

Greenberg RS, Mandel JS, Pastides H, Britton NL, Rudenko L, Starr TB. A Meta-Analysis of Cohort Studies Describing Mortality and Cancer Incidence among Chemical Workers in the United States and Western Europe. *Epidemiology* 2001;12:727-40

Hansell AL, Horwell CJ, Oppenheimer C THE HEALTH HAZARDS OF VOLCANOES AND GEOTHERMAL areas- *Occup Environ Med* 2006;63:149-156.

International Agency for Research on Cancer. *Occupational exposures in petroleum refining*. IARC Monographs 1989;25

International Programme on Chemical Safety (IPCS). Biomarkers and risk assessment: concepts and principles. *Environmental Health Criteria* n.155. Geneva: World Health Organization; 1993

Johnson KC, Pan S, Fry R, Mao Y. Residential Proximity to Industrial Plants and Non-Hodgkin Lymphoma. *Epidemiology* 2003;14:687-93

Knorr-LH, Raßer G Bayesian Detection of Clusters and Discontinuities in Disease Maps *Biometrics* vol 56 2000

Knox EG. Detection of clusters. In: Elliott P (Ed). *Methodology of enquiries into disease clustering*. London: Small Area Health Statistics Unit; 1989. p 17-20

Knox EG, Gilman EA. Hazard proximities of childhood cancers in Great Britain from 1953-80. *J Epidemiol Comm Health* 1977;51:151-9

Lawson AB and Kleinman K (Ed). *Spatial and Syndromic Surveillance for Public Health*. New York: John Wiley & Sons, Ltd; 2005

- Lehto J, Ritsatakis A. *Health Impact Assessment as a tool for intersectoral health policy*. Discussion paper for a conference on “Health impact assessment: from theory to practice”. Gothenburg, 28-31 October 1999
- Martuzzi M., Mitis F., Biggeri A., Terracini B., Bertollini R., Ambiente e Stato di Salute nella popolazione delle aree ad alto rischio di crisi ambientale in Italia. *Epidemiologia e Prevenzione* 2002; 26(6) suppl:1-53
- Naus J, Wallenstein S. Temporal surveillance using scan statistics. *Stat Med* 2006;25(2):311-324
- Neutra R. Counterpoint from a cluster-buster. *Am J Epidemiol* 1990;132:1-8
- Pasetto R. Studio della mortalità dei lavoratori del petrolchimico di Gela: uno studio di coorte occupazionale in un sito inquinato. Tesi di Master di II livello in Epidemiologia. Università di Torino, 2007
- Pasetto R, Biggeri A, Comba P, Pirastu R Mortalità nei lavoratori della coorte del petrolchimico di Gela 1960-2002. *Epidemiol Prev* 2007; 31(1): 39-45
- Parry J, Wright J. Community participation in health impact assessments: intuitively appealing but practically difficult. *Bull World Health Org* 2003;81(6):388
- Pearce N. Traditional epidemiology, modern epidemiology, and public health. *Am J Public Health* 1996;86:678-83.
- Pearce N, Checkoway H, Kriebel D. Bias in occupational epidemiology studies. *Occup Environ Med* 2007;64:562-8.
- Scrofani L. Rischio ambientale e poli industriali in Rischio e degrado in Italia, a cura di Ugo Leone- Patron Editore 1998
- Steven M. Teutsch, R. Elliott Churchill. *Principles and Practice of Public Health Surveillance*. New York: Oxford University Press, 2000
- Susser M, Susser E. Choosing a future for epidemiology: II. From black Box to Chinese Boxes and Eco-epidemiology. *Am J Public Health* 1996;86:674-7
- Thacker SB, Stroup DF, Parrish RG, Anderson HA. Surveillance in Environmental Public Health: Issues, Systems, and Sources. *Am J Public Health* 1996;86:633-638.
- Thacker, S.B., and Berkelman, R.L., and Stroup, D.F. “The Science of Public Health Surveillance”. *J Public Health Policy* 10 (1989):187-203

Wild CP. Complementing the genome with an “exposome”: the outstanding challenge of environmental exposure measurement in molecular epidemiology. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2005;14:1847-50

Wilkinson P, Thakrar B, Walls P, Landon M, Falconer S, Grundy C, Elliott P, Lymphohaematopoietic malignancy around industrial complexes that include major oil refineries in Great Britain. *Occup Environ Med* 1999;56:577-80

Yu CL, Wang SF, Pan PC, Wu MT, Ho CK, Smith TJ, Li J, Pothier L, Christiani DC. Residential Exposure to Petrochemicals and the Risk of Leukemia: Using Geographic Information System Tools to Estimate Individual-Level Residential Exposure. *Am J Epidemiol* 2006;164:200-7

APPENDICE:

10 facts on preventing disease through healthy environments

1. Worldwide, 13 million deaths could be prevented every year by making our environments healthier
2. In children under the age of five, one third of all disease is caused by the environmental factors such as unsafe water and air pollution.
3. Every year, the lives of four million children under 5 years – mostly in developing countries – could be saved by preventing environmental risks such as unsafe water and polluted air.
4. In developing countries, the main environmentally caused diseases are diarrhoeal disease, lower respiratory infections, unintentional injuries, and malaria.
5. Better environmental management could prevent 40% of deaths from malaria, 41% of deaths from lower respiratory infections, and 94% of deaths from diarrhoeal disease – three of the world's biggest childhood killers.

6. In the least developed countries, one third of death and disease is a direct result of environmental causes.
7. In developed countries, healthier environments could significantly reduce the incidence of cancers, cardiovascular diseases, asthma, lower respiratory infections, musculoskeletal diseases, road traffic injuries, poisonings, and drownings.
8. Environmental factors influence 85 out of the 102 categories of diseases and injuries listed in *The world health report*.
9. Much of this death, illness and disability could be prevented through well targeted interventions such as promoting safe household water storage, better hygiene measures and the use of cleaner and safer fuels.
10. Other interventions that can make environments healthier include: increasing the safety of buildings; promoting safe, careful use and management of toxic substances at home and in the workplace; and better water resource management.