



Regione
Lombardia

ASL Brescia

Dipartimento Prevenzione Medico

ESPOSIZIONE A PCB NELLA POPOLAZIONE DEI COMUNI DI BRESCIA, CASTEL MELLA E CAPRIANO DEL COLLE:

PCB SIERICI NELLA POPOLAZIONE DEL COMUNE DI BRESCIA E IN ALCUNE AREE LIMITROFE DEI COMUNI DI CASTEL MELLA E CAPRIANO DEL COLLE NEL 2013

-

CONFRONTO DEI LIVELLI DI PCB NEL 2013 RISPETTO AL 2003 NEL COMUNE DI BRESCIA

A cura dell'Osservatorio Epidemiologico
e del Servizio di Medicina Ambientale
dell'ASL di Brescia

Redazione a cura del comitato scientifico dello “Studio trasversale sull’esposizione a PCB nella popolazione generale dei Comuni di Brescia, Castel Mella e Capriano del Colle”¹

Responsabile scientifico

Fabrizio Speziani, Dipartimento di Prevenzione Medico, ASL Brescia

Comitato scientifico

Apostoli Pietro, Medicina del Lavoro, Igiene, Tossicologia e Prevenzione Occupazionale, AO Spedali Civili– Medicina del Lavoro, Università degli Studi di Brescia.

Donato Francesco, Igiene, Epidemiologia e Sanità Pubblica, Università degli Studi di Brescia.

Leonardi Lucia, Medicina Ambientale, ASL Brescia.

Lonati Fulvio, Dipartimento PAC, ASL Brescia.

Magoni Michele, Osservatorio Epidemiologico, ASL Brescia.

Segreteria organizzativa

Conti Maria Audenzia, Dipartimento di Prevenzione Medico, ASL Brescia.

Orizio Grazia, Dipartimento di Prevenzione Medico, ASL Brescia.

¹ La Regione Lombardia ha approvato con Delibera N°X/141 seduta del 17/05/2013 il progetto “Inquinamento ambientale da PCB a Brescia: valutazione dell’esposizione nella popolazione e possibili effetti sulla salute” che prevedeva 4 studi il primo dei quali è lo “Studio trasversale sull’esposizione a PCB nella popolazione generale dei Comuni di Brescia, Castel Mella e Capriano del Colle”

SOMMARIO

– **PREMESSA**

– **OBIETTIVI**

– **METODI**

– **RISULTATI**

A. L'INDAGINE DEL 2013

1. PARTECIPAZIONE ALLO STUDIO

2. LIVELLI PCB SIERICI TOTALI

2.1. Distribuzione dei PCB sierici

2.2. PCB sierici per area di residenza

2.3. PCB sierici e consumo di alimenti prodotti localmente

2.3.1 Tipologia e quantità consumo di alimenti prodotti localmente

2.4. Valori PCB sierici nella popolazione “non esposta”

2.5. PCB sierici ed altre esposizioni

2.5.1. Storia abitativa

2.5.2. Esposizione lavorativa

2.5.3. Abitudini alimentari (diverse dal consumo di alimenti locali)

2.5.4. Attività sportive nelle aree ora oggetto di restrizione

3. I CONGENERI e IL LORO PROFILO

4. TEQ (TOSSICITÀ EQUIVALENTE)

4.1. Distribuzione generale della TEQ

4.2. TEQ e consumo di alimenti prodotti localmente

5. CONFRONTO CON VALORI DI RIFERIMENTO ITALIANI ED INTERNAZIONALI

B. CONFRONTO TRA INDAGINI DEL 2013 E DEL 2003

1. DIFFERENZE METODOLOGICHE

2. PARTECIPAZIONE

3. CONFRONTO VALORI PCB SIERICI

3.1. Popolazione generale

3.2. Area di residenza

3.3. Consumo di alimenti prodotti localmente

4. CONFRONTO TRA IL PROFILO DEI CONGENERI

5. CONFRONTO TRA TEQ (TOSSICITÀ EQUIVALENTE)

– **CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI**

– **RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI**

PREMESSA

Nel territorio del Comune di Brescia, ad ovest della città, dal 1906 è insediata l'azienda chimica Caffaro; inizialmente collocata in posizione periferica, con l'espansione cittadina l'azienda fu conglobata all'interno del tessuto urbano, in un quartiere che oggi ha una destinazione mista, residenziale e produttiva. L'azienda produsse dal 1938 al 1984, unica in Italia, i policlorobifenili (PCB), composti organico-clorurati di sintesi.

Nella seconda metà degli anni novanta si svolsero a Brescia, in vista della costruzione del termo-utilizzatore dell'allora ASM, tre campagne di caratterizzazione dei terreni, che mostrarono, tra gli altri inquinanti, la presenza di PCB, con concentrazioni molto elevate in corrispondenza della fabbrica, e una diffusione con un gradiente decrescente in direzione sud, in particolare lungo le rogge irrigue.

Da un punto di vista normativo, con il D.L. 471/99 furono per la prima volta in Italia fissati limiti relativamente alla presenza di tali sostanze nell'ambiente, limiti poi modificati con il D.Lgs. 152/2006.

Nel 2001 l'ASL di Brescia istituì un Comitato Tecnico Scientifico (CTS), tutt'ora attivo, dedicato alla gestione inter-istituzionale dell'inquinamento da PCB, a cui partecipano il Comune di Brescia, l'ARPA, l'Istituto Zooprofilattico Sperimentale della Lombardia e dell'Emilia Romagna, l'Università degli Studi di Brescia, e che ha visto a seconda della necessità la collaborazione di altri enti e professionisti, tra cui l'Istituto Superiore di Sanità e l'ISPESL. L'area su cui insiste la fabbrica con il suo territorio limitrofo a sud fu inserita tra i Siti di Interesse Nazionale per la bonifica con il nome "Brescia-Caffaro".

Nel contesto del CTS, furono svolte indagini per la valutazione dei PCB nelle matrici ambientali, negli alimenti (di origine animale e vegetale) e nell'uomo, sia nei lavoratori sia nei cittadini residenti.

Le attività dell'ASL circa le indagini relative ai PCB sono sempre state rese disponibili sul sito dell'ASL di Brescia [1], sia attraverso periodici rapporti dettagliati sia attraverso due guide volte a riassumere il percorso fatto e le evidenze disponibili, una prima edita nel 2002 e una seconda nel 2013.

Gli studi epidemiologici condotti sono inoltre stati pubblicati su riviste scientifiche internazionali soggette a revisione paritaria e di elevato profilo nel settore ambientale.

Su proposta dell'ASL il Comune di Brescia emanò nel 2002 una ordinanza sindacale che vietava ogni tipo di coltivazione e allevamento nel sito contaminato, con lo scopo di interrompere la catena di trasmissione alimentare della contaminazione nella popolazione bresciana

Tra gli studi epidemiologici, risulta di particolare interesse ripercorrere i principali risultati della prima indagine di popolazione [2] realizzata nel 2003 per valutare i livelli di PCB sierici negli abitanti del comune di Brescia in relazione al Sito di Interesse Nazionale per la bonifica (SIN) Caffaro. I risultati dell'indagine permisero di:

1. definire i livelli di riferimento del PCB nel sangue della popolazione adulta del comune di Brescia [3] per fasce d'età, evidenziando come i livelli di PCB risultassero fortemente correlati all'età, con livelli molto più bassi tra i più giovani.
2. definire i livelli di contaminazione da PCB nei residenti in aree (vedi figura 1) a diversa contaminazione ambientale della città [4].
3. dimostrare come la contaminazione umana da PCB fosse associata e prevalentemente determinata dal consumo di alimenti, in prevalenza di origine animale, prodotti nelle aree contaminate, e che altre vie di contaminazione fossero marginali [4].

A dieci anni di distanza da tale indagine è importante stabilire se le misure per prevenire l'assorbimento di PCB da parte dei cittadini siano state efficaci, operando un confronto tra i livelli di PCB sierici nella popolazione del comune di Brescia riscontrati nel 2003 e quelli odierni.

A tutela della popolazione partecipante e testata, pur in assenza di effetti certi dei PCB sull'organismo umano alle dosi riscontrate, fin dai primi anni 2000 si decise di offrire alle persone i cui valori sierici di PCB nel sangue superavano il livello di soglia del PCB nel siero della popolazione bresciana, la possibilità di essere seguiti nel tempo, con un controllo annuale/biennale dei PCB ematici e dello stato di salute. Questo follow-up ha interessato, in quest'ultimo decennio, circa un centinaio di persone, ed è tutt'ora in corso.

Inoltre, recentemente, sono emerse forti preoccupazioni sulla possibile contaminazione umana in alcune aree dei comuni di Castel Mella e Capriano del Colle, a sud di Brescia, che presentano un inquinamento ambientale da PCB; per questa ragione la presente indagine include anche i residenti in tali aree.

OBIETTIVI

Obiettivi primari dell'indagine sono:

A. Rivalutare la concentrazione di PCB sierici nella popolazione adulta delle aree di Brescia con contaminazione ambientale da PCB (denominate aree A, B, e C nella precedente indagine) e nelle aree della città non confinanti (area D), con particolare attenzione al consumo di prodotti alimentari di origine locale.

B. Valutare la concentrazione di PCB sierici nei residenti in aree a sospetta contaminazione ambientale derivante dalle rogge irrigue dei comuni di Castel Mella e Capriano del Colle.

Obiettivo secondario dell'indagine è valutare gli effetti da esposizione a PCB sulla salute indagando le associazioni tra i livelli sierici di PCB e:

- a) alcune malattie riferite dai soggetti, in particolare malattie endocrine e metaboliche;
- b) parametri ematochimici, con particolare riguardo agli indici di funzionalità tiroidea, alla glicemia e agli indicatori di danno epatico.

NELLA PRESENTE RELAZIONE NON SONO RIPORTATI I RISULTATI RELATIVI AGLI OBIETTIVI SECONDARI DELL'INDAGINE CHE SARANNO OGGETTO DI UN'ALTRA RELAZIONE.

METODI

Definizione delle aree

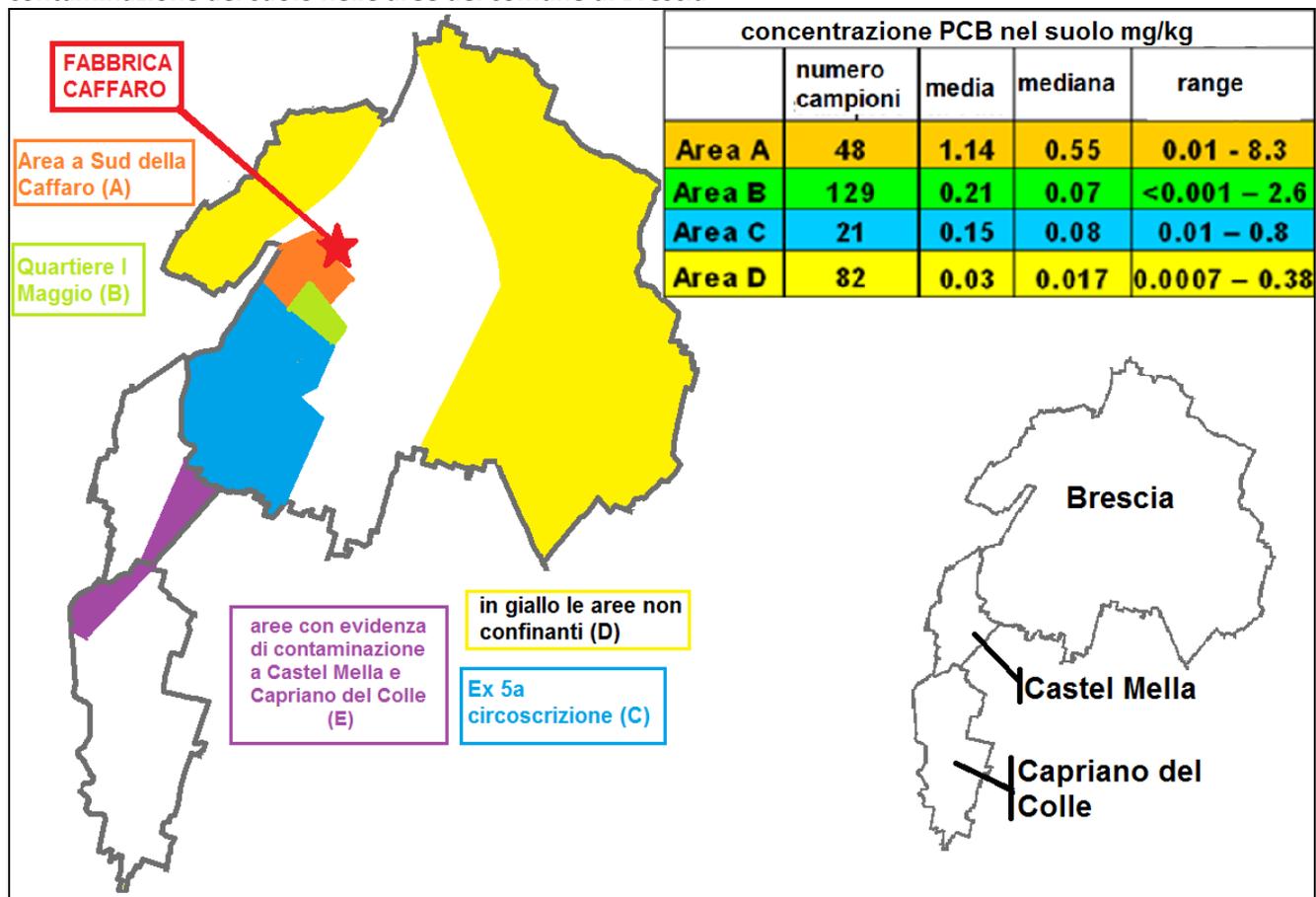
In base alla concentrazione nei terreni dei PCB nel 2003 erano state definite 4 aree del comune a differente livello di contaminazione (figura 1).

- Area **A**: area immediatamente a sud della fabbrica Caffaro con livelli molto elevati di PCB nei suoli.
- Area **B**: quartiere Primo Maggio (esclusa area A).
- Area **C**: zone della città collocate a sud dell'area A, corrispondenti alla ex 5° circoscrizione (quartieri di Chiesanuova, Fornaci e Villaggio Sereno). L'area B e C presentano livelli di PCB nei suoli meno elevati rispetto all'area A ma più elevati rispetto alle aree della città non confinanti con il SIN Caffaro.
- Area **D**: zone della città non contigue all'area a sud della Caffaro, con livelli di PCB nei terreni ritenuti di fondo, comprendente le ex-circoscrizioni 2°, 3°, 7° e 8°.

Nella presente indagine è stata inserita una nuova area (figura 1).

- Area **E**: comprendente 2 zone con evidenza di contaminazione da PCB situate nei comuni di **Castel Mella** (area compresa delimitata ad est da via Quinzano, a sud da via Trento, ad ovest dalla sponda sinistra del fiume Mella e a Nord dal confine con il comune di Brescia) e di **Capriano del Colle** (area tra la strada provinciale SP9 e la sponda sinistra del Mella).

Figura 1: Le 5 aree a diversa contaminazione da PCB oggetto della presente indagine: In tabella contaminazione del suolo nelle aree del comune di Brescia



Popolazione

La determinazione dei composti oggetto di studio è stata effettuata in un campione di soggetti italiani di età compresa tra 20 e 79 anni, di cui il 50% maschi, residenti da almeno 5 anni nelle aree precedentemente definite del comune di Brescia o nelle aree dei comuni di Castel Mella e Capriano del Colle. I residenti di 20-79 anni nelle diverse aree erano nel 2013 (secondo dati forniti anagrafe dei rispettivi comuni):

- Area **A**: 700 persone.
- Area **B**: 1.559 persone.
- Area **C**: 9.864 persone.
- Area **D**: 66.095 persone.
- Area **E**: 904 persone nell'area del comune di Castel Mella e 146 nell'area di Capriano del Colle.

Per tutte le aree la scelta dei soggetti da includere nella ricerca è stata effettuata secondo modalità di campionamento casuale, utilizzando a tal fine le liste dei residenti fornite dalle anagrafi comunali.

Sono stati inclusi nella presente indagine anche alcuni soggetti che erano già stati campionati nel 2003 e che causalmente sono stati ri-campionati anche nel 2013 (evento non infrequente per le aree con una popolazione limitata).

L'indagine è stata pubblicizzata tramite mezzi di informazione locali (giornali, televisioni, siti internet). Ad ogni soggetto selezionato è stata inviata una lettera personale, tramite messo comunale, che lo invitava a partecipare alla ricerca. Ai non partecipanti è stato inviato, con la stessa modalità, un secondo invito.

Ai soggetti aderenti alla ricerca è stato richiesto di firmare un consenso informato al prelievo e raccolta di un campione ematico e al trattamento dei dati sensibili.

Misure di laboratorio

Per ogni soggetto, è stato raccolto a digiuno un campione di sangue di 25 ml frazionato in 6 provette ed inviato ai due laboratori di analisi partecipanti all'indagine per le seguenti ricerche:

- a. Trentatré congeneri di PCB e loro somma (PCB totali) presso l'Azienda Ospedaliera Spedali Civili – UO Medicina del Lavoro, Igiene e Tossicologia Occupazionale.
- b. I seguenti parametri chimico-clinici: colesterolo, trigliceridi, glicemia, azotemia, bilirubina, transaminasi, gamma-GT ed emocromo con formula ed indicatori biologici di funzionalità tiroidea (fT3, fT4, TSH, T3, T4, Anti-TPO, Anti-TG, Tireoglobulina) presso il Laboratorio di Sanità Pubblica dell'ASL di Brescia (certificato ISO 9001:2008).

Le analisi sono state effettuate in cieco, senza che i laboratori fossero a conoscenza dell'appartenenza alle aree dei soggetti.

Metodologia di analisi dei PCB e controlli qualità

I congeneri determinati sono stati, in ordine di eluizione: 31, 28, 52, 74, 77, 81, 101, 99, 105, 114, 118, 123, 126, 146, 153, 138, 128, 167, 156, 157, 169, 187, 183, 177, 172, 180, 170, 189, 201, 196-203, 194, 206, 209.

Il campione di siero è stato sottoposto a estrazione liquido-liquido dopo precipitazione della fase proteica, concentrato e caricato su colonnine SPE (estrazione in fase solida) che trattengono gli analiti di interesse; i PCB sono stati successivamente eluiti con n-esano.

La determinazione è stata eseguita mediante Gas cromatografo GC Agilent Technologies 6890 N MSD 5973 con rivelatore massa Agilent Technologies 5973 (LITO IO0742).

È stato utilizzato Siero di controllo (CQI) G-EQUAS, University Erlangen-Nuremberg (Germany).

La seduta analitica è stata accettata se il risultato del controllo di qualità interno rientrava nei range di accettabilità dichiarati (il valore medio dichiarato nella carta di controllo +/- 3 Deviazioni Standard).

I limite di quantificazione per i singoli congeneri erano di 0,1 µg/L per i congeneri 28, 31, 105, 118, 126, 128, 138, 146, 169, 180, 187, 194, 201, 206 e 0,05 µg/L per i congeneri 52, 74, 77, 81, 99, 101, 114, 123, 153, 156, 157, 167, 170, 172, 177, 183, 189, 196-203, 209.

Ai congeneri non rilevabili non è stato attribuito alcun valore.

Con periodicità almeno annuale il Laboratorio partecipa al programma di verifica esterna (VEQ: External intercomparison programme for toxicological analyses in biological materials – Prof Dr. Med H. Drexler – Institute and Outpatient Clinic for Occupational, Social and Environmental Medicine of the University of Erlangen-Nuremberg – Germany). I congeneri esaminati sono: 28, 52, 101, 138, 153, 180. Il Laboratorio di Igiene e Tossicologia Occupazionale è certificato dal 2005 ex UNI EN ISO 9001:2008.

I valori dei PCB possono essere espressi sia in forma volumetrica (µg/L) che in rapporto alla quantità di lipidi sierici totali (ng/g lipidi). Nella presente relazione viene utilizzata prevalentemente l'espressione volumetrica (µg/L) che peraltro è la più diffusa in letteratura. In taluni casi, per favorire il confronto con studi che hanno utilizzato il rapporto su lipidi sierici totali, è stata espressa la concentrazione di PCB anche in tale forma. I lipidi sierici totali, in questo caso sono stati calcolati partendo da colesterolo sierico e trigliceridi utilizzando la formula secondo Phillips et al: colesterolo sierico (g/L) x 2,27 + trigliceridi (g/L) +0,623.

Dati raccolti mediante intervista

Ogni soggetto partecipante alla ricerca è stato sottoposto a un'intervista della durata di 30-60 minuti, effettuata presso il Dipartimento di Prevenzione Medica dell'ASL di Brescia in contemporanea con il prelievo ematico. L'intervista è servita a raccogliere informazioni concernenti: anamnesi patologica, storia residenziale, storia professionale e abitudini di vita, incluse le abitudini alimentari, utilizzando a tal fine un questionario messo a punto appositamente per l'indagine e in buona parte sovrapponibile a quello utilizzato nella precedente indagine del 2003.

Analisi dei dati

Sono state calcolate media aritmetica, geometrica, mediana, deviazione standard, range, 75° e 95° percentile quali misure di distribuzione della concentrazione sierica dei PCB totali.

Per studiare le associazioni tra sesso, età, area di residenza, consumo di alimenti di provenienza locale e altri fattori e la concentrazione di PCB sono stati impiegati i comuni metodi di analisi statistica univariata e multivariata. Poiché la distribuzione dei PCB sierici totali non è risultata approssimabile alla gaussiana, sono stati impiegati test non parametrici per le analisi univariate.

Tuttavia, poiché la trasformata logaritmica dei PCB aveva una distribuzione più simmetrica e più simile alla gaussiana rispetto ai valori originali, è stata utilizzata la trasformata logaritmica per tutti i modelli di regressione lineare, compresi quelli di regressione multipla.

Nella precedente analisi erano stati considerati non direttamente esposti all'effetto Caffaro i soggetti che: non avevano mai risieduto nell'area A, non avevano mai consumato alimenti prodotti in aree contaminate e non avevano mai lavorato nella fabbrica Caffaro. Il valore arrotondato dei PCB totali sierici corrispondente al 95° percentile della distribuzione per tali soggetti non esposti era risultato di 15 µg/L nel 2003 e di 10 µg/L nella presente indagine. Tali valori sono stati utilizzati quali soglie di confronto.

Si è quindi calcolata la proporzione dei soggetti con valori superiori a tali soglie, utilizzando comuni tecniche statistiche per l'analisi di proporzioni per valutare le associazioni in studio, e l'analisi con regressione logistica multipla quale tecnica di analisi multivariata. Tutti i test statistici sono stati condotti usando la soglia del 5% ($p=0,05$) per rifiutare l'ipotesi nulla con test a due code.

I valori di riferimento

Il concetto di “Valori di riferimento” (VR) ha alla sua base il principio della comparazione: i risultati delle determinazioni di laboratorio devono essere valutati “comparandoli” con opportuni valori misurati in soggetti classificati come “soggetti di riferimento”.

Per quanto riguarda sostanze xenobiotiche (non presenti in natura), quali i PCB, è corretto affermare che non dovrebbero essere presenti e quindi misurabili nelle matrici biologiche, ma di fatto, a causa di un'ampia eco-dispersione, essi sono presenti anche nelle aree più remote del pianeta.

Tali “soggetti di riferimento” non sono necessariamente “sani” né rappresentano necessariamente l'intera popolazione, ma sono soggetti di cui devono essere note le caratteristiche (età, genere, principali abitudini individuali etc.): i loro valori sono da considerare la risultante della loro esposizione ambientale generale (aerea, idrica, alimentare, voluttuaria).

Per i PCB vi sono diversi fattori, ben noti in letteratura, che fanno aumentare i valori sierici: la residenza in zona industriale, l'attività lavorativa presso aziende che producevano/utilizzavano PCB, il consumo di alimenti animali specie se ricchi di grassi, l'età.

Nell'interpretazione dei valori di ciascun soggetto, quindi, va tenuto presente che:

- Un valore inferiore ai VR non va interpretato necessariamente come “normale”.
- Un valore superiore ai VR non va interpretato come “patologico” poiché non vi è una relazione tra valori elevati ed effetto sulla salute umana.

I metodi analitici da mettere a punto per la produzione dei VR devono rispondere ai requisiti di accuratezza, ripetibilità, precisione, specificità, sensibilità. Il confronto tra valori di PCB riscontrati a Brescia con quelli di studi condotti su altre popolazioni deve essere effettuato con prudenza in quanto:

- Anche negli studi più accreditati nella letteratura scientifica i PCB sono stati esaminati con diverse tecniche analitiche aventi limiti di rilevabilità differenti.
- Nei vari studi il numero di congeneri dosati era estremamente variabile (da poche unità a circa 40) e non sempre i congeneri dosati erano gli stessi.
- I valori dei PCB sono stati calcolati da alcuni autori mediante il dosaggio dei PCB totali come tali, da altri attraverso il dosaggio dei congeneri ritenuti più significativi per tossicità e presenza nell'ambiente, dosati in quanto tali e successivamente sommati.

Tossicità Equivalente

La tossicità equivalente (TEQ) è una grandezza tossicologica che esprime la concentrazione di una sostanza nociva in termini di quantità equivalente a un composto standard.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha identificato 17 policloro-dibenzo-p-diossine/policloro-dibenzofurani e 12 policlorobifenili tossici assegnando loro un fattore di equivalenza tossica internazionale relativo alla 2,3,7,8-tetracloro-dibenzo-p-diossina (TCDD), la più potente tra le diossine. Per questo le normative ambientali hanno progressivamente esteso i limiti secondo tossicità equivalente.

La TEQ è in relazione con l'effettiva concentrazione di una data sostanza tramite il suo specifico fattore di equivalenza tossica (TEF, toxic equivalency factor), e si calcola moltiplicando tale fattore (TEF) per la concentrazione effettiva del composto.

Per i 12 PCB diossina simili sono utilizzate due tabelle dei TEF elaborate dall'OMS [5], quella del 1998 e quella del 2005, riportate nella tabella adiacente, ad esempio:

- 1 ng di congenere 126 = 0,1 ng di TCDD in entrambe le classificazioni
- 1 ng di congenere 169 = 0,01 ng di TCDD secondo classificazione del 1998 e = 0,03 ng TCDD secondo classificazione del 2005.
- Congenere 167 = 0,00001 (1 ng di congenere 169 = 1/100.000 ng di TCDD secondo classificazione del 1998)

Nella presente relazione sarà principalmente utilizzato il metodo WHO del 1998 che è quello più comunemente citato in letteratura.

CONGENERI		WHO 1998 TEF	WHO 2005 TEF
NON- ORTO	Tetra PCB 77 *	0,0001	0,0001
	Tetra PCB 81 *	0,0001	0,0003
	Penta PCB 126 *	0,1	0,1
	Esa PCB 169 *	0,01	0,03
MONO- ORTO	Penta PCB 105 *	0,0001	0,00003
	Penta PCB 114 *	0,0005	0,00003
	Penta PCB 118 *	0,0001	0,00003
	Penta PCB 123 *	0,0001	0,00003
	Esa PCB 156 *	0,0005	0,00003
	Esa PCB 157 *	0,0005	0,00003
	Esa PCB 167 *	0,00001	0,00003
	Epta PCB 189 *	0,0001	0,00003

Nella presente indagine si è calcolata la tossicità equivalente (TEQ) complessiva di ogni campione sulla base dei soli dai valori di PCB non essendo stati analizzati furani e diossine; la rilevazione analitica di questi ultimi è infatti molto complessa da effettuare a livello individuale, poiché richiede quantitativi rilevanti di siero. Nel corso dell'analisi del 2003 era stato realizzato un sotto studio su pool (aggregando i soggetti in gruppi omogenei) da parte dell'Istituto Superiore di Sanità [6] che aveva analizzato anche le componenti diossinica (PCDD) e furanica (PCDF) ed aveva evidenziato come dal 56% al 75% della tossicità equivalente fosse determinata dai PCB.

Strutture coinvolte e competenze

Lo studio è condotto dall'ASL di Brescia in collaborazione con l'Università degli Studi di Brescia, con le seguenti competenze.

- ASL di Brescia - Dipartimento di Prevenzione Medico: gestione complessiva dell'indagine, gestione operativa di reclutamento dei soggetti, effettuazione dei prelievi di sangue, compilazione dei questionari e caricamento dati su supporto informatico, detenzione dei dati, comunicazioni successive ai soggetti coinvolti.
- ASL di Brescia - Osservatorio Epidemiologico: elaborazione del protocollo dello studio e dei suoi allegati (questionario, consenso informato, lettere di invito), supporto tecnico e scientifico, analisi statistica dei dati, interpretazione dei risultati e stesura di report tecnici e di articoli scientifici.
- ASL di Brescia - Laboratorio di Sanità Pubblica: effettuazione delle analisi clinico-chimiche e della funzione tiroidea.
- Azienda Ospedaliera Spedali Civili - UO Medicina del Lavoro, Igiene e Tossicologia Occupazionale/Cattedra d'Igiene Industriale Università degli Studi di Brescia: collaborazione scientifica per la stesura del protocollo di studio e l'interpretazione dei dati, e la stesura di report tecnici e di articoli scientifici; effettuazione delle determinazioni dei PCB sierici.
- Università degli Studi di Brescia - Sezione di Igiene, Epidemiologia e Sanità Pubblica: collaborazione scientifica per la stesura del protocollo di studio, l'interpretazione dei dati e la stesura di report tecnici e di articoli scientifici.

RISULTATI

La presente relazione riporta i risultati preliminari dell'indagine; sono inoltre indicati i capitoli che saranno oggetto di approfondimento nell'analisi finale. I risultati sono presentati in due sezioni separate:

- A. PCB SIERICI NELLA POPOLAZIONE DEL COMUNE DI BRESCIA E IN ALCUNE AREE LIMITROFE NEL 2013:** riporta i dati che sono stati oggetti di analisi nella presente indagine che include anche alcune aree di Castel Mella e Capriano del Colle.
- B. CONFRONTO DEI LIVELLI DI PCB SIERICI NEL 2013 RISPETTO AL 2003 NEI RESIDENTI DEL COMUNE DI BRESCIA:** viene effettuato un confronto temporale per i residenti nel comune di Brescia, armonizzando la metodologia di rilevazione dei PCB sierici per rendere i dati comparabili.

A - PCB SIERICI NELLA POPOLAZIONE DEL COMUNE DI BRESCIA E IN ALCUNE AREE LIMITROFE DEI COMUNI DI CASTEL MELLA E CAPRIANO DEL COLLE NEL 2013

1. PARTECIPAZIONE ALLO STUDIO

Si è inviata una lettera di invito a partecipare a 1.523 soggetti campionati tra i residenti dei 3 comuni inclusi: 1.230 erano i soggetti campionati nelle 4 aree precedentemente definite di Brescia, 209 nell'area di Castel Mella e 84 di Capriano del Colle.

Dei 1.523 soggetti campionati, 615 (40,4%) hanno accettato di partecipare all'indagine ed hanno eseguito il prelievo ematico. Per un soggetto la determinazione PCB ha presentato riscontri anomali ed è stato escluso. La percentuale di adesione allo studio è stata simile nelle diverse aree ($P=0,6$ tabella 1), più elevata nelle donne rispetto agli uomini (44,3% vs 36,4%; $P=0,002$) e meno elevata nella fascia d'età più avanzata (tabella 2), seppur in maniera non statisticamente significativa ($P=0,1$)

L'analisi logistica multivariata confermava la maggior percentuale di adesione femminile.

Tabella 1: Partecipazione allo studio per area di residenza

area	A	B	C	D	E	Totale
N° campionati	293	313	312	312	293	1.523
N° aderenti	114	129	129	116	126	614
% aderenti	38,9%	41,2%	41,3%	37,2%	43,0%	40,3%

Tabella 2: Partecipazione allo studio per categoria d'età

Categoria età	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	Totale
N° campionati	249	247	261	258	257	251	1.523
N° aderenti	99	91	116	109	113	86	614
% aderenti	39,8%	36,8%	44,4%	42,2%	44,0%	34,3%	40,3%

Le 5 aree sono state rappresentate in modo abbastanza omogeneo: 114 erano residenti nell'area A, 129 nella B, 129 nella C, 116 nella D e 126 nell'area E, con una distribuzione del campione per età simile nelle 4 aree (tabella 3).

Tabella 3: Numerosità partecipanti per area e categoria d'età

Classi d'età	Area A	Area B	Area C	Area D	Area E	TOTALE
20-29	17	21	21	18	22	99
30-39	15	19	21	16	20	91
40-49	20	21	27	26	22	116
50-59	19	23	19	24	24	109
60-69	22	25	25	20	21	113
70-79	21	20	16	12	17	86
TOTALE	114	129	129	116	126	614

2. LIVELLI PCB SIERICI TOTALI

2.1. Distribuzione dei PCB sierici

In **tabella 4** si riportano i parametri di distribuzione della concentrazione dei PCB totali nei 614 soggetti esaminati espressi in $\mu\text{g/L}$ ed i corrispondenti parametri espressi per ng/grasso .

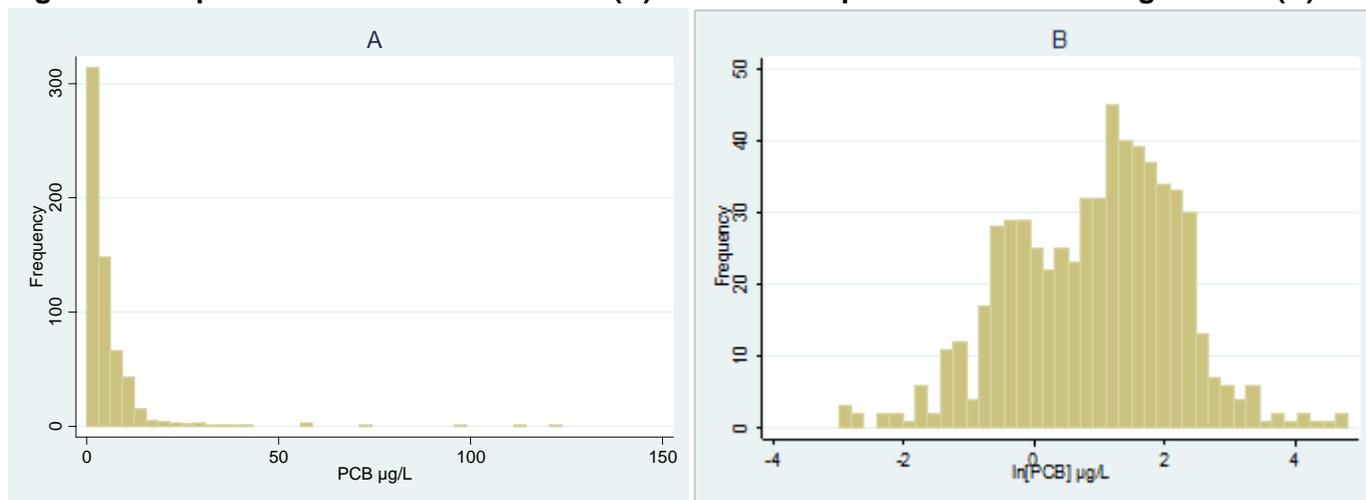
Si tenga presente che i dati espressi nelle due diverse modalità sono quasi sovrapponibili con una correlazione di Spearman di 0,988 ($P < 0,0001$). Per questo motivo, nel resto della relazione si riportano principalmente i valori volumetrici in $\mu\text{g/L}$.

Tabella 4: Valori dei PCB sierici totali

	N. di soggetti	Mediana	Media geometrica	Media aritmetica	DS	Range min - max		75° centile	95° centile
TOTALE PCB ($\mu\text{g/L}$)	614	2,96	2,53	5,39	10,23	0	123,71	6,15	14,89
PCB su grasso (ng/grammo)	614	463	405	815	1.552	0	22.883	881	2.242

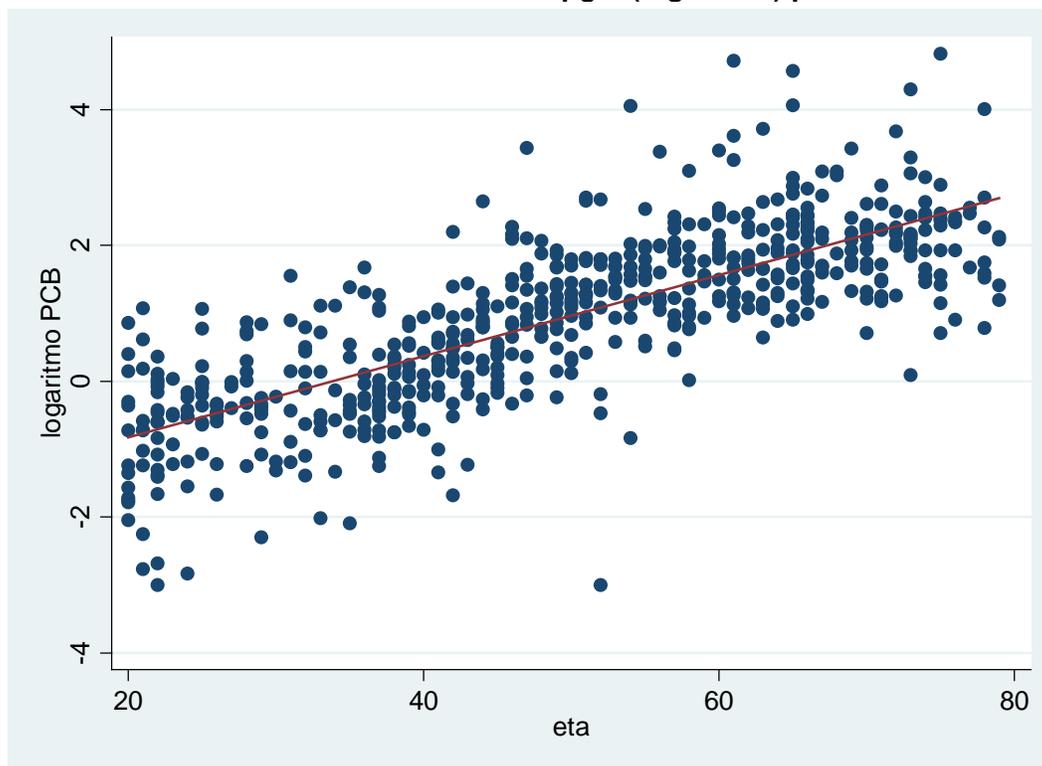
I livelli dei PCB sierici sono risultati assai disomogenei nel campione esaminato, con una distribuzione non normale sia per i valori originali sia per la trasformata logaritmica (**figure 2a e 2b**). Va tuttavia fatto rilevare che la trasformata logaritmica approssima meglio la gaussiana rispetto ai dati originali.

Figura 2: Frequenza dei valori di PCB totali (A) e della corrispettiva trasformata logaritmica (B)



È stata riscontrata una forte correlazione positiva dei livelli di PCB sierici con l'età (R di Spearman=0,81, **figura 3**).

Figura 3. Distribuzione dei valori di PCB sierici in µg/L (logaritmo) per l'età



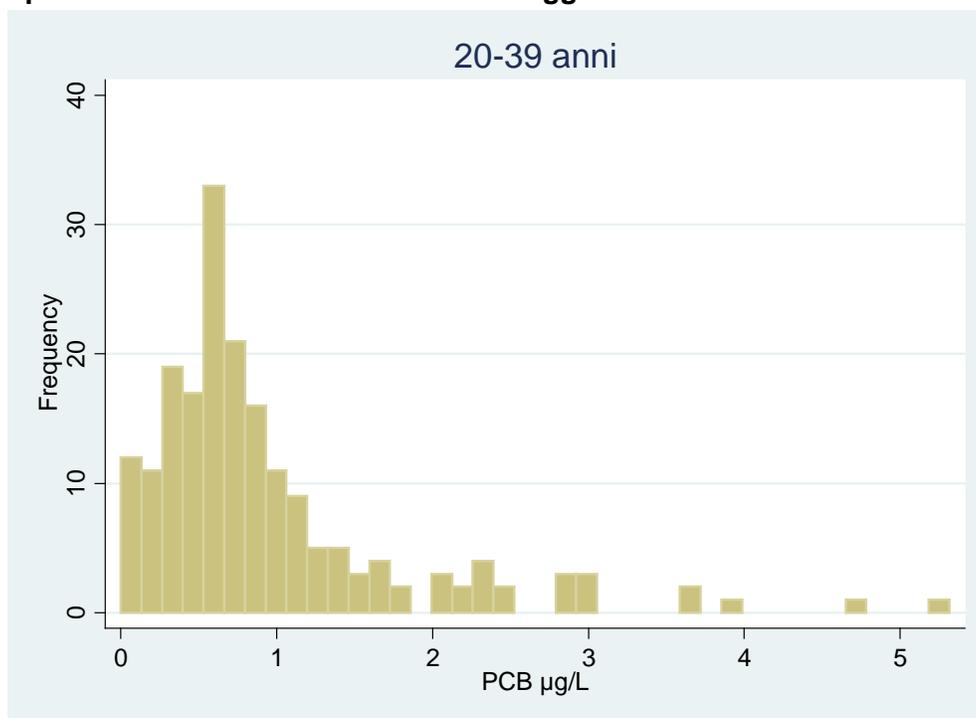
Tanto i valori centrali (medie e mediana) quanto quelli estremi (75° e 95° percentile, valore massimo) sono risultati fortemente associati con l'età (tabella 5): i sessantenni e i settantenni avevano valori più di 10 volte superiori rispetto ai ventenni, considerando mediana, medie, 75° e 95° percentile. Ancor più evidente la differenza per quanto riguarda i valori massimi che nei soggetti più anziani sono di circa 40 volte superiori rispetto ai valori nei più giovani.

Tabella 5. Valori dei PCB totali sierici (µg/L) per categoria d'età

Età in anni	N. di soggetti	Mediana	Media geometrica	Media aritmetica	DS	range min - max	75° percentile	95° percentile
20-29	99	0,62	0,55	0,74	0,62	0,00 - 2,92	0,96	2,33
30-39	91	0,82	0,87	1,17	1,01	0,12 - 5,33	1,42	3,56
40-49	116	2,04	2,04	2,91	3,48	0,19 - 31,18	3,17	8,19
50-59	109	4,25	4,01	5,56	6,46	0,05 - 57,39	6,05	14,25
60-69	113	6,61	7,47	10,86	15,11	1,90 - 112,07	11,10	30,78
70-79	86	8,10	7,74	11,18	16,01	1,09 - 123,71	10,95	27,06

Si noti come nei 190 soggetti di età inferiore ai 40 anni la distribuzione dei PCB totali sia più simmetrica, con un minor numero di valori estremi nella coda di destra (**figura 4**).

Figura 4: Frequenza dei valori dei PCB totali nei soggetti con meno di 40 anni



I valori di PCB non hanno presentato differenze significative tra maschi e femmine (tabella 6, $P=0,5$). La distribuzione dei valori di PCB sierici era simile nei due sessi per tutte le fasce d'età.

Tabella 6. Valori dei PCB ($\mu\text{g/L}$) totali sierici per sesso

	N. di soggetti	Mediana	Media geometrica	Media aritmetica	DS	Range min - max	75° percentile	95° percentile
Femmine	334	2,95	2,44	5,45	9,70	0,00 - 96,42	6,05	19,93
Maschi	280	3,02	2,66	5,33	10,85	0,00 - 123,71	6,58	14,05

2.2. PCB sierici per area di residenza

Nei residenti nell'area a Sud della Caffaro (**tabella 7**) i valori medi, il 75° e 95° centile ed il valore massimo di PCB sono risultati più elevati rispetto ai residenti nelle altre aree per la presenza di pochi valori estremi notevolmente più elevati nei residenti dell'area a Sud della Caffaro rispetto agli altri; tuttavia tale differenza all'analisi univariata non risultava statisticamente significativa (test di Kruskal-Wallis che confrontava area A rispetto a tutte le altre $P=0,15$). Effettuando, invece, una regressione lineare multipla che includeva oltre all'area di residenza (zona Sud Caffaro rispetto alle altre aree aggregate) anche le variabili sesso ed età si è evidenziato come i livelli di PCB sierici nei residenti dell'area A fossero più elevati rispetto ai residenti in altre aree ($P<0,0001$).

Le altre aree del comune di Brescia (B, C e D) non hanno presentato differenze significative tra loro, tuttavia si notava nelle aree adiacenti all'area A (B e C) una tendenza ad avere valori estremi (95° centile e valori massimi) più elevati rispetto all'area di controllo D.

I valori di PCB nei residenti delle aree di Castel Mella e Capriano del Colle sono risultati essere mediamente più elevati rispetto all'area D, non confinate della città (P=0,003) e simili rispetto alle aree confinate B e C (P=0,06).

Tabella 7. Valori dei PCB ($\mu\text{g/L}$) sierici totali per area di residenza

	N. di soggetti	Mediana	Media geometrica	Media aritmetica	DS	Range min - max		75° centile	95° centile
A - Area Sud Caffaro	114	3,17	3,18	9,19	19,74	0,07	123,71	7,31	54,96
B - Quartiere I Maggio	129	3,09	2,11	4,02	5,11	0,00	37,00	5,23	11,05
C - Ex 5 ^a Circostrizione	129	2,57	2,37	4,68	7,56	0,06	73,54	5,89	14,05
D - Aree non confinanti	116	2,63	2,24	3,84	3,60	0,00	22,08	5,83	9,81
E - Castel Mella/ Capriano del Colle	126	3,33	2,97	5,54	6,77	0,00	40,97	6,92	15,88

L'analisi dei diversi gruppi d'età nelle 4 diverse aree geografiche (**tabella 8**) ha permesso di evidenziare come le differenze tra le aree non siano omogenee tra le diverse fasce d'età. In particolare:

- Per i soggetti dai **20 ai 39 anni**: i valori di PCB sierici sono risultati simili in tutte le 4 aree del comune di Brescia sia per i valori centrali sia per quelli estremi. Nei soggetti residenti nelle aree di Castel Mella e Capriano del Colle si sono riscontrati, invece, valori medi più elevati di circa 1/3 rispetto ai residenti del comune di Brescia (P=0,025); anche i valori estremi sono risultati più elevati.
- Per i soggetti dai **40 ai 59 anni**: i valori mediani sono risultati molto simili nelle diverse aree (test di Kruskal-Wallis P=0,5). I valori medi di PCB sierici erano comunque più elevati nell'area a sud della Caffaro per la presenza di alcuni soggetti con elevati valori estremi (regressione multipla area A rispetto a tutte le altre P=0,002). L'area E è risultata al secondo posto sia come media che come 75° e 95° centile, anche se la differenza rispetto alle aree B, C e D era ai limiti della significatività statistica (P=0,07).
- Per i soggetti dai **60 ai 79 anni**: i valori medi ed estremi di PCB sierici sono risultati più del doppio nell'area a Sud Caffaro rispetto alle altre, anche in questo caso per la presenza di alcuni soggetti con elevati valori estremi (test di Kruskal-Wallis P=0,006). L'area E era al secondo posto sia come media che come 95° centile; in questo caso la differenza rispetto alle aree B, C e D di Brescia è risultata statisticamente significativa (test di Kruskal-Wallis P=0,001). Le analisi tramite regressione lineare confermavano tali risultati.

Tabella 8. Valori dei PCB sierici totali ($\mu\text{g/L}$) per fascia d'età e area di residenza

	AREE	N. di soggetti	Mediana	Media	DS	Range		75° percentile	95° percentile
						min	max		
20-39 anni	A - Area Sud Caffaro	32	0,74	0,97	0,85	0,07	3,70	1,01	3,05
	B - Quartiere I Maggio	40	0,57	0,74	0,71	0,00	2,91	0,75	2,60
	C - Ex 5 ^a Circostrizione	42	0,72	1,01	0,81	0,06	3,99	1,16	2,41
	D - Aree non confinanti	34	0,57	0,77	0,62	0,00	2,46	1,15	2,22
	E - Castel Mella/Capriano	42	0,89	1,20	1,13	0,00	5,33	1,20	3,56
40-59 anni	A - Area Sud Caffaro	39	2,88	6,41	10,69	0,44	57,39	6,53	31,18
	B - Quartiere I Maggio	44	3,04	3,45	2,45	0,19	11,34	5,02	7,57
	C - Ex 5 ^a Circostrizione	46	2,57	3,44	2,99	0,62	14,50	4,39	9,76
	D - Aree non confinanti	50	3,09	3,71	3,27	0,05	22,08	4,70	7,29
	E - Castel Mella/Capriano	46	3,34	4,32	3,35	0,29	14,25	6,02	12,68
60-79 anni	A - Area Sud Caffaro	43	7,09	17,83	28,44	2,03	123,71	13,59	96,42
	B - Quartiere I Maggio	45	5,23	7,47	6,87	1,90	37,00	8,15	20,20
	C - Ex 5 ^a Circostrizione	41	6,89	9,83	11,36	1,09	73,54	11,41	21,34
	D - Aree non confinanti	32	7,68	7,29	2,81	2,48	12,90	9,31	12,78
	E - Castel Mella/Capriano	38	10,16	11,82	8,72	2,43	40,97	13,67	39,77

Nello studio del 2003 era stato considerato il valore di 15 $\mu\text{g/L}$ come valore soglia, poiché corrispondente al 95° percentile della popolazione non esposta all'evento in studio. Si è ritenuto opportuno riportare di seguito le percentuali di soggetti con valori di PCB sierici oltre tale limite, suddivise per area di residenza e per fascia d'età (**tabella 9**):

- la percentuale di soggetti residenti nell'area A con valori superiori a 15 $\mu\text{g/L}$ era del 10,5%, tre volte più elevata rispetto ai residenti in altre aree (Odds Ratio corretto per età=2,97; P=0,008)
- la percentuale di soggetti di Castel Mella e Capriano del Colle con valori superiori a 15 $\mu\text{g/L}$ era più elevata rispetto a quella dei residenti in area B, C e D del comune di Brescia. In questo caso, comunque, la differenza non era statisticamente significativa (Odds Ratio corretto per età=2,28 P=0,1).
- vi era solo un soggetto dell'area D con valori superiori a 15 $\mu\text{g/L}$ (percentuale 0,9%).
- 29 soggetti pari al 4,7% del totale avevano livelli superiori a 15 $\mu\text{g/L}$, 25 nella fascia d'età oltre i 60 anni e gli altri 4 tra i 40-59 anni, mentre nessun soggetto sotto i 40 anni aveva valori $\geq 15\mu\text{g/L}$ (P<0,0001).

Usando come soglia il valore di 10 $\mu\text{g/L}$, che corrisponde al 95° centile della popolazione non esposta nella presente indagine, si è notata una maggior prevalenza di soggetti con livelli elevati a Castel Mella e Capriano del Colle, con percentuale simile a quella rilevata nella zona a Sud della Caffaro. La differenze tra l'area A ed E rispetto alle restanti (B,C e D) era statisticamente significativa (P<0,0001).

Tabelle 9. Numero e percentuale dei soggetti con valori dei PCB sierici totali superiori ai due valori soglia per area di residenza (A) e fascia d'età (B)

A)	A-Area Sud Caffaro	B- Quartiere I Maggio	C-Ex 5^ Circoscrizione	D- Circ. non confinanti	E-Castel Mella e Capriano del Colle	Totale
N° testati	114	129	129	116	126	614
PCB ≥ 15 (µg/L)	12	4	5	1	7	29
%	10,5%	3,1%	3,9%	0,9%	5,6%	4,7%
PCB ≥ 10 (µg/L)	20	8	16	5	22	71
%	17,5%	6,2%	12,4%	4,3%	17,5%	11,6%

B)	20-39 anni	40-59 anni	60-79 anni	Totale
N° testati	190	225	199	614
PCB ≥ 15 (µg/L)	0	4	25	29
%	0,0%	1,8%	12,6%	4,7%
PCB ≥ 10 (µg/L)	0	13	58	71
%	0,0%	5,8%	29,1%	11,6%

2.3 PCB sierici e consumo di alimenti prodotti localmente

Nella precedente indagine il consumo di alimenti prodotti localmente (in particolare carni e alimenti di origine animale) nelle aree più contaminate era risultato essere il fattore maggiormente correlato con alti livelli di PCB sierici.

I soggetti partecipanti all'indagine sono stati classificati sulla base delle risposte circa le loro abitudini alimentari:

- Consumatori di alimenti prodotti nella zona più contaminata immediatamente a Sud della Caffaro (Area A): **“Consumatori alimenti area Sud Caffaro”**.
- Consumatori di alimenti prodotti in zone a contaminazione intermedia del comune di Brescia e confinanti con l'area A, corrispondenti alle aree B (quartiere Primo Maggio) e C (Ex 5° circoscrizione, corrispondente ai quartieri Chiesanuova, Fornaci, Villaggio Sereno): **“Consumatori alimenti aree confinanti”**.
- Consumatori di alimenti prodotti in aree non confinanti con l'area A, corrispondenti all'area D: **“Consumatori alimenti aree non confinanti”**.
- Consumatori di alimenti prodotti nelle zone a contaminazione ambientale di Castel Mella e Capriano del Colle: **“Consumatori alimenti Castel Mella e Capriano del Colle”**.
- **“Non consumatori”** di alimenti locali

I soggetti che avevano consumato alimenti provenienti da più aree sono stati classificati come consumatori degli alimenti provenienti dall'area più contaminata tra quelle indicate.

Come si può notare nella **tabella 10**:

- I “Consumatori alimenti aree non confinanti” avevano valori simili ai “Non consumatori” (P=0,7). I “Consumatori alimenti area Sud Caffaro” avevano livelli notevolmente più elevati, con una mediana doppia rispetto ai restanti gruppi, con una media superiore più di 3 volte e il 95° percentile 10 volte più elevato (Kruskal-Wallis test P=0,0006).
- I valori dei PCB sierici nei “Consumatori alimenti Castel Mella e Capriano del Colle” erano mediamente più elevati rispetto ai “Consumatori alimenti aree confinanti”, ma la differenza era ai limiti della significatività statistica (P=0,054).
- I valori dei PCB sierici nei “Consumatori alimenti Castel Mella e Capriano del Colle” e nei “Consumatori alimenti aree confinanti” erano più bassi rispetto ai “Consumatori alimenti area a sud della Caffaro” da un lato e più elevati rispetto ai “Non consumatori” e ai “Consumatori alimenti aree confinanti”.

Tabella 10: Valori dei PCB sierici per consumo di alimenti prodotti nelle diverse aree

		N. di soggetti	Valori di PCB ematico (µg/L)						
			Mediana	Media	DS	Range min - max	75° percentile	95° percentile	
NON CONSUMATORI		312	2,60	3,64	4,57	0,00	58,18	4,75	9,99
CONSUMATORI DI ALIMENTI PRODOTTI IN	Aree non confinanti (D)	66	2,23	3,37	3,14	0,05	11,87	4,69	9,69
	Aree confinanti (B+C)	116	3,50	5,98	8,96	0,06	73,54	7,24	21,34
	Area a sud Caffaro (A)	48	5,56	15,40	28,03	0,07	123,71	10,28	96,42
	Castel Mella Capriano del Colle (E)	72	4,88	7,22	8,00	0,24	40,97	10,50	21,93

Anche in questo caso, considerando come valore soglia 10 µg/L invece che 15µg/L si evidenziava un maggior “peso” per i consumatori di alimenti prodotti a Castel Mella e Capriano del Colle (**tabella 11**).

Tabella 11: Percentuali soggetti oltre i valori soglia per consumo di alimenti prodotti nelle diverse aree

		N. di soggetti	Percentuale con PCB≥15µg/L	Percentuale con PCB≥10µg/L	Età media
NON CONSUMATORI		312	1,6%	4,8%	48,7
CONSUMATORI DI ALIMENTI PRODOTTI IN	Aree non confinanti (D)	66	0,0%	4,6%	46,5
	Aree confinanti (B+C)	116	7,8%	19,0%	50,2
	Area a sud Caffaro (A)	48	18,8%	25,0%	50,4
	Castel Mella Capriano del Colle (E)	72	8,3%	26,4%	52,7

Anche in questo caso le differenze variavano con l'età, infatti:

- Nel gruppo d'età inferiore ai 40 anni il consumo di alimenti prodotti localmente non risultava associato ad alcun aumento di PCB sierico indipendentemente dall'area di produzione (tabella 12, P=0,3).

Tabella 12: Valori PCB per consumo di alimenti prodotti nelle diverse aree per età 20-39 anni

Età 20-39 anni		N. di soggetti	Valori di PCB ematico (µg/L)						
			Mediana	Media	DS	Range min - max	75° centile	95° centile	
NON CONSUMATORI		99	0,65	0,90	0,84	0,00	4,74	1,06	2,91
CONSUMATORI DI ALIMENTI PRODOTTI IN	Aree non confinanti (D)	22	0,65	0,85	0,72	0,06	2,82	1,00	2,35
	Aree confinanti (B+C)	36	0,64	0,98	1,03	0,06	5,33	1,29	3,03
	Area a sud Caffaro (A)	13	0,88	1,01	0,77	0,07	2,92	0,99	2,92
	Castel Mella Capriano del Colle (E)	20	0,94	1,14	0,85	0,24	3,56	1,22	3,25

- Nel gruppo d'età tra 40-59 anni (tabella 13) il consumo di alimenti prodotti nell'area a Sud della Caffaro era fortemente associato a livelli di PCB sierici più elevati rispetto alle altre aree (P<0,0001). Anche i consumatori di alimenti prodotti nelle "aree confinanti" e nelle aree di "Capriano del Colle e Castel Mella" risultavano avere livelli sierici di PCB più elevati rispetto ai "non consumatori" e ai "consumatori aree non confinanti" (P=0,03).

Tabella 13: Valori PCB per consumo di alimenti prodotti nelle diverse aree per età 40-59 anni

Età 40-59 anni		N° di soggetti	Valori di PCB ematico (µg/L)						Percentuale con PCB		
			Mediana	Media	DS	Range min - max	75° centile	95° centile	≥15µg/L	≥10µg/L	
NON CONSUMATORI		123	2,76	3,27	2,41	0,19	14,50	4,19	7,05	0%	2,4%
CONSUMATORI DI ALIMENTI PRODOTTI IN:	Aree non confinanti (D)	27	2,34	3,18	2,49	0,05	10,06	4,34	8,10	0%	3,7%
	Aree confinanti (B+C)	38	3,31	4,27	3,98	0,60	22,08	5,89	10,42	2,6%	7,9%
	Area a sud Caffaro (A)	17	4,74	11,01	15,02	0,83	57,39	9,03	57,39	17,7%	23,5%
	Castel Mella Capriano del Colle (E)	20	4,76	5,35	3,80	0,92	14,25	6,53	14,22	0%	10,0%

- Nel gruppo d'età tra 60-79 anni (tabella 14) il consumo di alimenti prodotti nell'area a Sud della Caffaro era ancor più fortemente associato a livelli di PCB sierici più elevati (P<0,0001), così come lo erano pure i consumatori di alimenti prodotti nelle "aree confinanti" e nelle aree di "Capriano del Colle e Castel Mella" rispetto ai "non consumatori" e ai "consumatori aree non confinanti" ai non consumatori (P<0,0001).

Tabella 14: Valori PCB per consumo di alimenti prodotti nelle diverse aree per età 60-79 anni

Età 60-79 anni	N° di soggetti	Valori di PCB ematico (µg/L)							Percentuale con PCB		
		Mediana	Media	DS	Range min - max		75° centile	95° centile	≥15µg/L	≥10µg/L	
NON CONSUMATORI	90	5,66	7,15	6,58	1,90	58,18	9,00	15,40	5,6%	13,3%	
CONSUMATORI DI ALIMENTI PRODOTTI IN:	Aree non confinanti (D)	17	7,57	6,94	2,65	2,03	11,87	8,45	11,87	0%	11,8%
	Aree confinanti (B+C)	42	8,73	11,81	12,26	1,09	73,54	12,19	30,78	18,8%	45,2%
	Area a sud Caffaro (A)	18	9,79	29,94	39,48	3,19	123,7	29,80	123,71	33,3%%	44,4%
	Castel Mella Capriano del Colle (E)	32	10,50	12,27	9,16	2,43	40,97	14,11	39,77	18,8%	53,1%

I livelli di PCB sierici nei non consumatori di alimenti locali (tabella 15) erano simili nelle diverse aree studiate (test Kruskal-Wallis per tutte le aree $P=0,6$; test area A rispetto a tutte le altre $P=0,5$).

Tabella 15: Valori PCB per area di residenza nei non consumatori di alimenti prodotti localmente

	Numero di soggetti	Mediana	Media	DS	Range min - max		75° percentile	95° percentile
Area Sud Caffaro (A)	58	2,87	4,92	8,24	0,19	58,18	5,22	15,40
Quartiere I Maggio (B)	77	3,09	3,48	3,30	0,00	20,20	4,71	9,29
Ex 5° Circoscrizione (C)	53	2,35	3,31	3,58	0,13	17,04	4,14	11,25
Aree non confinanti (D)	74	2,77	3,60	2,96	0,00	12,90	5,51	9,31
Castel Mella e Capriano del Colle (E)	50	2,02	2,80	2,66	0,00	12,68	3,82	6,92

Per tutte le analisi per consumo di alimenti oltre ai test non parametrici sono state effettuate anche delle analisi multivariate (regressioni lineari e logistiche), aggiustate per età, che hanno confermato le associazioni sopra menzionate.

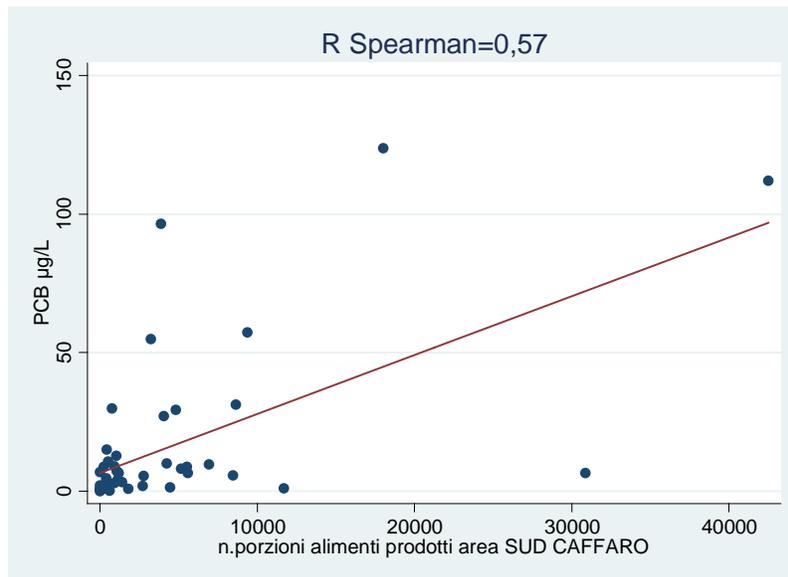
Va fatto rilevare che il 59% (27 persone) dei 46 soggetti che in passato erano stati consumatori di alimenti prodotti nell'area a sud della Caffaro ha dichiarato, nel corso dell'intervista, di continuare tutt'ora, nonostante l'ordinanza di divieto, a utilizzare alimenti prodotti localmente.

2.3.1 Tipologia e quantità consumo di alimenti prodotti localmente

Per ognuno dei 302 soggetti consumatori di prodotti locali è stata stimata la quantità complessiva di porzioni di alimenti prodotti localmente assunti nell'arco della vita (esposizione cumulativa). Tale stima è stata ottenuta moltiplicando il numero di anni di assunzione per la frequenza annuale di assunzione dei vari alimenti (verdure, frutta, carni, uova e latte) prodotti localmente.

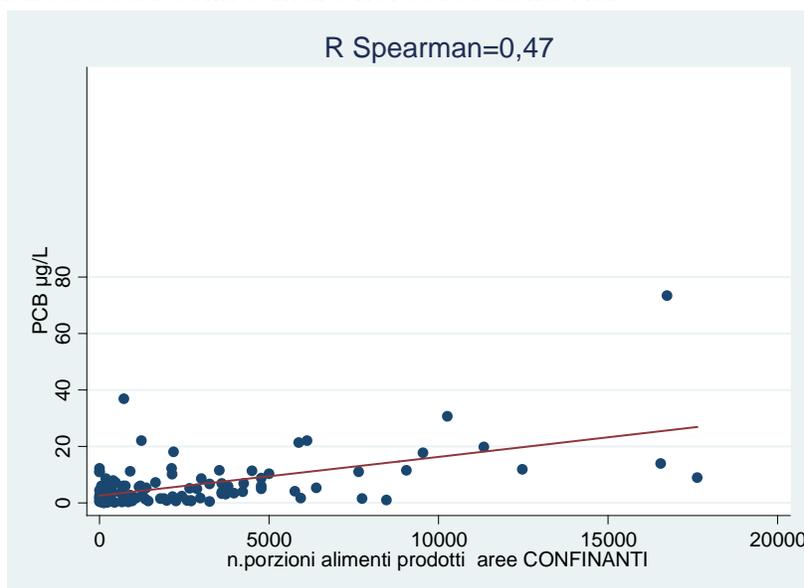
La frequenza di assunzione di prodotti locali ha mostrato una correlazione con i livelli di PCB medio-forte per i 48 consumatori di alimenti prodotti nell'area sud della Caffaro (figura 5, R di Spearman=0.57, $p<0.0001$). L'aggiustamento per età, tramite regressione lineare, confermava tale correlazione.

Figura 5: Correlazione tra livelli di PCB sierici e numero di porzioni di alimenti prodotti nell'area a sud della Caffaro nel corso della vita.



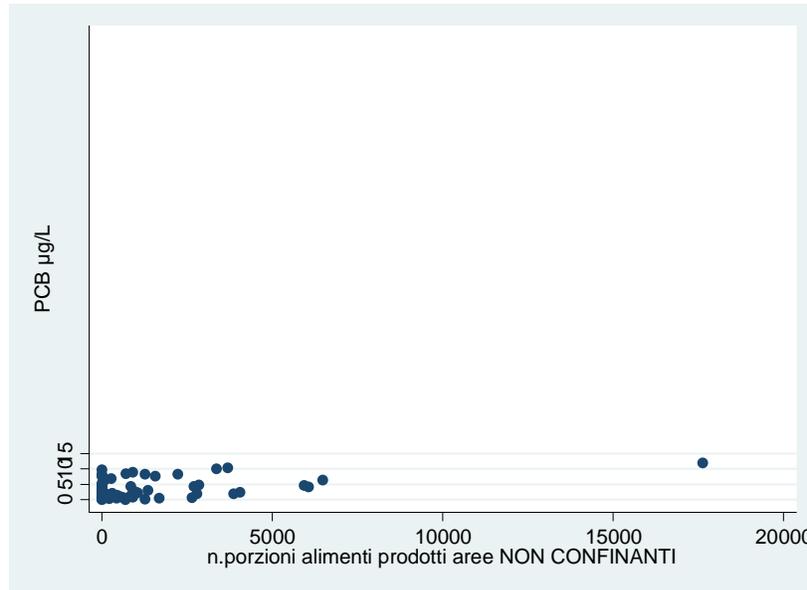
La frequenza di assunzione di prodotti locali per i 116 consumatori di alimenti prodotti nelle aree confinanti ha mostrato una correlazione moderata, ancorché significativa, con i livelli di PCB (figura 6, R di Spearman= 0.47, $p < 0.0001$). L'aggiustamento per età, tramite regressione lineare, confermava tale correlazione.

Figura 6: Correlazione tra livelli di PCB sierici e numero di porzioni di alimenti prodotti nelle aree confinanti con l'area a sud della Caffaro nel corso della vita



La frequenza di assunzione di prodotti locali per i 66 consumatori di alimenti prodotti in altre aree ha mostrato una bassa correlazione con i livelli di PCB (figura 7, R di Spearman= 0.25, $P=0,045$); aggiustando per età, tramite regressione lineare, non si notava alcuna significatività per tale correlazione ($P=0,6$).

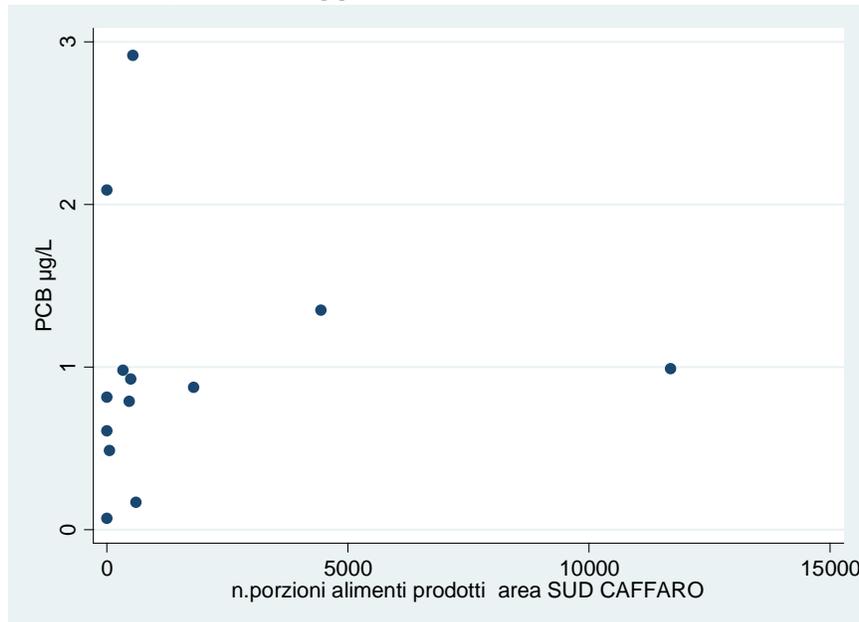
Figura 7: Correlazione tra livelli di PCB sierici e numero di porzioni di alimenti prodotti nelle aree NON confinate con l'area a sud della Caffaro nel corso della vita



Si tenga presente che i consumatori di prodotti animali avevano quasi sempre consumato anche vegetali prodotti nelle medesime aree ed in media avevano consumato vegetali con una frequenza più che doppia rispetto ai consumatori di soli vegetali. E' perciò evidente che non è stato possibile distinguere il ruolo dei prodotti animali rispetto a quello dei vegetali nel influenzare i livelli ematici di PCB.

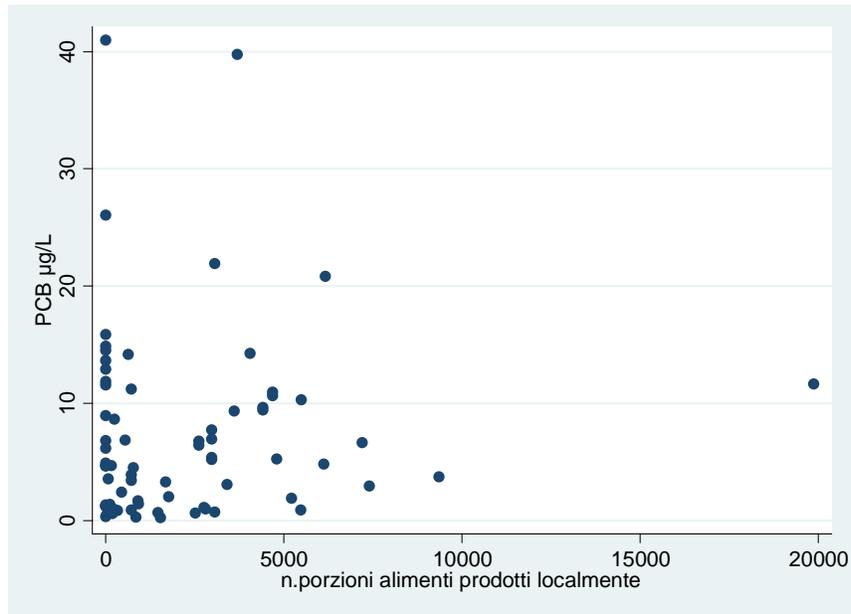
Risulta interessante notare che per i 13 soggetti consumatori di alimenti prodotti nell'area sud della Caffaro di età inferiore ai 40 anni non vi era alcuna associazione tra la frequenza di assunzione di prodotti locali con i livelli di PCB (figura 8, R di Spearman= 0.36, p=0,2).

Figura 8: Correlazione tra livelli di PCB sierici e numero di porzioni di alimenti prodotti nell'area a sud della Caffaro per i 13 soggetti di età inferiore ai 40 anni nel corso della vita



Al contrario di quanto riscontrato per il comune di Brescia, la frequenza di assunzione di prodotti locali per i 72 consumatori di alimenti prodotti nelle aree di Castel Mella e Capriano del Colle non ha mostrato alcuna correlazione con i livelli di PCB (figura 9, R di Spearman= 0.01, P=0,9).

Figura 9: Correlazione tra livelli di PCB sierici e numero di porzioni di alimenti prodotti nelle aree di Capriano del Colle e Castel Mella nel corso della vita



2.4 Valori PCB sierici nella popolazione “non esposta”

Al fine di stimare i livelli di PCB sierici nella popolazione senza esposizioni specifiche legate alla presenza del SIN Caffaro, sono stati esclusi i seguenti soggetti:

- coloro con storia abitativa presente o passata nell’area a sud dell’azienda Caffaro (di qualsiasi durata).
- coloro che hanno consumato alimenti prodotti in una qualsiasi delle aree inquinate (area Sud della Caffaro, Quartiere I Maggio, Ex 5°Circoscrizione, aree di Capriano del Colle e Castel Mella)
- coloro che hanno lavorato presso l’azienda Caffaro.

In seguito all’applicazione di questi criteri di esclusione sono stati considerati 304 soggetti.

La **tabella 16** mostra i valori dei PCB sierici in questi soggetti; si noti come anche in questo gruppo di soggetti sussista una forte associazione con l’età. Nessuna differenza si è notata tra maschi e femmine. Nel complesso il valore di 10 µg/L di PCB totali appare proponibile come valore limite di confronto per l’intera popolazione, anche se nei soggetti di 20-39 e 40-59 anni andrebbero considerati valori sensibilmente inferiori.

Tabella 16: Valori dei PCB $\mu\text{g/L}$ sierici nella popolazione “non esposta” per sesso e fascia d’età

		Numero di soggetti	Mediana	Media aritmetica	DS	Range min - max	75° centile	95° centile
tutti		304	2,47	3,26	2,94	0,00 - 17,04	4,73	9,27
Categorie d’età	20-39 anni	98	0,65	0,87	0,79	0,00 - 4,74	1,06	2,38
	40-59 anni	125	2,62	3,25	2,38	0,05 - 14,50	4,39	7,29
	60-79 anni	81	5,72	6,16	2,76	1,90 - 17,04	8,15	9,99
SESSO	maschi	139	2,29	3,14	2,65	0,00 - 10,36	4,42	9,00
	femmine	165	2,56	3,36	3,16	0,00 - 17,04	4,75	9,73

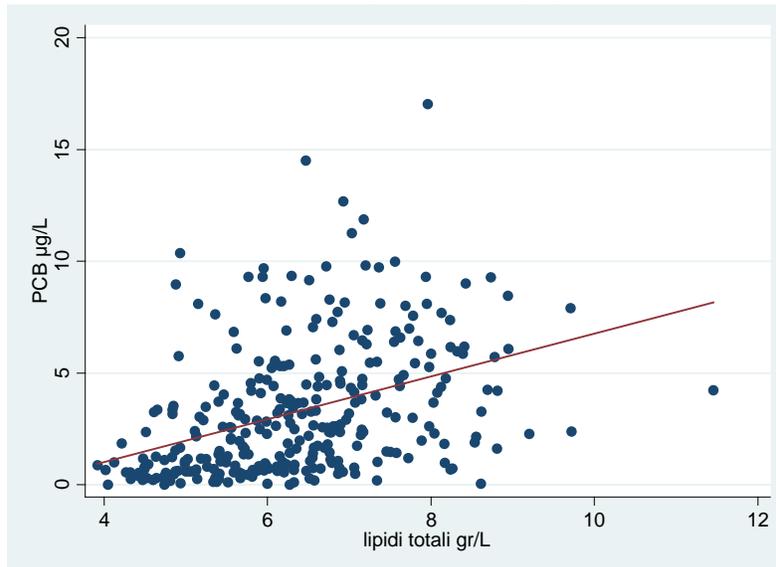
Gli stessi dati (tabella 17) vengono riportati anche espressi in ng/gr lipidi per favorire il confronto con altri valori di riferimento espressi con tale modalità.

Tabella 17: Valori di riferimento PCB ng/gr lipidi nella popolazione “non esposta” per sesso e fascia d’età

		Numero di soggetti	Mediana	Media aritmetica	DS	Range min - max	75° centile	95° centile
tutti		304	384	495	431	0 - 2.242	712	1.398
Categorie d’età	20-39 anni	98	119	148	118	0 - 663	191	378
	40-59 anni	125	417	494	353	6 - 2.242	663	1.075
	60-79 anni	81	847	916	407	222 - 2.139	1172	1.629
SESSO	maschi	139	369	478	406	0 - 2.102	694	1.224
	femmine	165	399	509	451	0 - 2.242	723	1.407

Si è riscontrata una moderata correlazione tra PCB sierici e lipidi totali ($R_{\text{Spearman}}=0,47$; $P<0,0001$) che persisteva anche aggiustando per età (figura 10). Non si notava alcuna correlazione con l’Indice di Massa Corporeo ($P=0,6$).

Figura 10: Correlazione tra livelli di PCB sierici e lipidi totali in popolazione “non esposta”



2.5 PCB sierici ed altre esposizioni

2.5.1 Storia abitativa

Tra i soggetti residenti nelle zone B, C, D ed E al momento dell'indagine 5 risultavano aver risieduto in precedenza nell'area a Sud della Caffaro, senza differenza statisticamente significativa rispetto a coloro che non vi avevano mai risieduto.

Confrontando i soli soggetti che avevano dichiarato di non aver mai consumato alimenti prodotti localmente, quelli che avevano residenza presente o passata nell'area a Sud della Caffaro avevano livelli di PCB sierici simili ai soggetti mai residenti in tale area (tabella 18, Kruskal-Wallis test $P=0,3$).

Ciò nonostante tra coloro con storia residenziale a Sud della Caffaro vi era una percentuale maggiore di soggetti con livelli oltre i valori soglia ($P=0,001$). Non è chiaro se per tali soggetti vi possa essere stato un non riportato consumo di alimenti prodotti localmente oppure se vi sia stata una qualche altra esposizione.

Tabella 18: Valori PCB per storia abitativa nell'area Sud Caffaro nei non consumatori di alimenti prodotti localmente

	N° di soggetti	Valori di PCB ematico ($\mu\text{g/L}$)						Percentuale con PCB	
		Mediana	Media aritmetica	DS	Range min - max	75° centile	95° centile	$\geq 15\mu\text{g/L}$	$\geq 10\mu\text{g/L}$
Mai residenza area Sud Caffaro	250	2,56	3,25	2,91	0,00 17,04	4,71	9,29	0,4%	2,0%
Storia di residenza area Sud Caffaro	62	2,90	5,20	8,28	0,19 58,18	5,75	15,40	6,4%	16,1%

2.5.2 Esposizione lavorativa

Nel questionario sono state investigate possibili esposizioni lavorative a PCB e nella tabella 19 vengono riportati i livelli di PCB sierici medi per tali esposizioni lavorative. Al fine di evitare il possibile confondimento determinato dal consumo di alimenti prodotti in zone inquinate e dalla residenza nell'area Sud Caffaro, nella colonna di destra il confronto è stato fatto escludendo tali soggetti (su popolazione di "non esposta").

Per nessuna delle esposizioni lavorative indagate si è riscontrata, nella popolazione "non esposta", un'associazione statisticamente significativa con livelli di PCB sierici.

L'unica esposizione ai limiti della significatività statistica riguardava i 6 soggetti con storia lavorativa nella fabbrica Caffaro.

Tabella 19: Valori dei PCB sierici totali ($\mu\text{g/L}$) per alcune esposizioni lavorative nella popolazione generale e nella popolazione "non esposta".

anamnesi lavorativa	TOTALE (n.614)			popolazione "non esposta" (n304)				
	n. esposti	media PCB		n. esposti	media PCB		regressione lineare con correzione età	
		esposti	non esposti		esposti	non esposti	coefficiente	P
Lavoro in Caffaro	6	10,2	5,4	3	6,0	3,3	0,77	0,07
Contatto con trasformatori e/o condensatori	17	6,9	5,4	7	3,5	3,3	0,72	0,4
Lavoro con rottami	25	6,7	5,4	7	3,7	3,3	-0,50	0,5
Incendi di plastiche o rilascio di sostanze chimiche	17	14,3	5,2	7	3,8	3,3	0,47	0,6
Uso di pesticidi e/o insetticidi in agricoltura	21	12,2	5,2	7	4,9	3,3	-0,30	0,7
Pratica del sovescio	13	16,3	5,2	4	5,7	3,3	1,24	0,3
Lavoro in cementifici	5	2,2	5,5	3	1,4	3,4	1,37	0,3
Lavoro in inceneritori e/o discariche	11	6,5	5,4	1	7,1	3,3	-0,78	0,7

2.5.3 Abitudini alimentari (diverse dal consumo di alimenti locali)

Per la popolazioni di “non esposta” sono state indagate eventuali associazioni tra PCB e abitudini alimentari.

Per ognuno degli alimenti riportati in tabella è stato chiesto ai partecipanti la frequenza di assunzione (quotidiana o quasi / 1-2 volte alla settimana / occasionalmente/mai o quasi mai). Per alcuni alimenti liquidi (latte, alcolici) è stato stimato il volume consumato al giorno o alla settimana. Per le uova è stato stimato il numero di uova consumate alla settimana.

Per nessuna delle abitudini alimentari indagate si è trovata un’associazione significativa con i livelli di PCB sierici (tabella 20).

Tabella 20: Valori di PCB ($\mu\text{g/L}$) in relazione al consumo di determinati alimenti nella popolazione “non esposta”.

Abitudini alimentari	medie PCB ($\mu\text{g/L}$)		regressione lineare corretta per età tra frequenza assunzione (4 livelli) e valori PCB (logaritmo)	
	Tipo CONSUMO		Coefficiente (stima dell’aumento di PCB $\mu\text{g/L}$)	P value
	Frequente ²	Non frequente		
pollame	2,9	3,6	-0,02	0,8
coniglio	4,8	3,2	0,06	0,5
maiale	2,8	3,4	0,00	0,9
bovino	2,9	3,4	-0,09	0,1
equino	3,6	3,2	0,03	0,6
salumi	3,2	3,4	-0,06	0,2
pesce	3,7	3,1	0,00	1,0
formaggi	3,3	3,0	-0,02	0,7
yougurt	3,3	3,2	0,02	0,6
uova	3,2	3,3	-0,02	0,7
latte	3,1	3,5	0,02	0,6
grassi animali ¹	3,2	2,7	-0,01	0,6
burro	3,2	3,3	-0,08	0,4
olio di semi	2,6	3,3	-0,29	0,1
olio d’oliva	3,3	2,8	-0,11	0,5
alcol	4,2	3,7	-0,04	0,6

¹ costruito assemblando dati quantitativi per consumo di carni, formaggi, uova e latte.

² Frequente= consumo quotidiano o almeno 1-2 volte alla settimana.

³ Non Frequente= consumo occasionale e/o quasi mai

2.5.4 Attività sportive nelle aree attualmente oggetto di restrizione all'uso

Il 29% dei partecipanti (176 soggetti) ha dichiarato di aver frequentato o praticato sport regolarmente in aree attualmente oggetto di restrizione all'uso; per questi è stata definita l'esatta locazione dell'area in cui l'attività veniva eseguita e la frequenza di tale attività:

- Il “Campo Calvesi” risultava essere stata l'area maggiormente utilizzata (88 persone, 50%), seguita dal Parco del Mella (9 persone).
- Per circa 1/3 dei soggetti l'attività svolta era stata occasionale (meno di 20 volte in tutta la vita), mentre per circa un 20% è stata praticata in modo continuativo per lunghi periodi.
- Non si è notata alcuna associazione tra livelli di PCB sierici e l'aver praticato attività ludico/sportiva nelle aree suddette (tabella 21). Tutti i test eseguiti non erano significativi.

Tabella 21: Valori di PCB ($\mu\text{g/L}$) in relazione all'attività in alcune aree oggetto di restrizione

Tipologia e luogo attività	media PCB	
	totale (614)	popolazione “non esposta”
nessuna attività in tali aree	5,64	3,41
attività sportiva nelle aree	4,78	2,86
attività sportiva Parco Calvesi	3,40	3,40
attività sportiva in altre aree	6,15	2,32

Anche analizzando la frequenza dell'attività effettuata classificandola da occasionale (meno di 20 volte nella vita), fino a molto frequente (>1.000 volte nella vita) non si notava alcuna associazione con i livelli di PCB sierici, in particolare:

- l'analisi tramite regressione lineare che studiava i livelli di PCB in relazione alla frequenza di attività presso il Campo Calvesi correggendo per età ha dato un coefficiente di -0,18 (P=0,4)
- l'analisi tramite regressione lineare che studiava i livelli di PCB in relazione alla frequenza di attività presso altre aree correggendo per età ha dato un coefficiente di -2,11 (P=0,14).

3. I CONGENERI e LORO PROFILO

Il livello dei PCB sierici totali è stato calcolato sommando il valore di 33 diversi congeneri che presentano una distribuzione disomogenea, come mostrato nella figura 11 e nella tabella 22.

Tabella 22: Rilevabilità dei diversi congeneri e loro peso nella determinazione dei PCB totali

CONGENERI	Numero di soggetti con livelli rilevabili	Percentuale di soggetti con livelli rilevabili	Percentuale media del valore del congenere sulla concentrazione totale dei PCB	Valore medio congenere in µg/L	Valore mediano congenere in µg/L
Tri PCB 28	104	16,9%	0,98%	0,024	0,000
Tri PCB 31	50	8,1%	0,43%	0,012	0,000
Tetra PCB 52	172	28,0%	1,86%	0,023	0,000
Tetra PCB 74 §	387	63,0%	2,59%	0,070	0,063
Tetra PCB 77 *	5	0,8%	0,01%	0,000	0,000
Tetra PCB 81*	7	1,1%	0,03%	0,001	0,000
Penta PCB 99 §	335	54,6%	1,35%	0,060	0,055
Penta PCB 101	132	21,5%	0,90%	0,018	0,000
Penta PCB 105*	9	1,5%	0,01%	0,003	0,000
Penta PCB 114*	0	0,0%	0,00%	0,000	0,000
Penta PCB 118*	415	67,6%	2,52%	0,110	0,078
Penta PCB 123*	62	10,1%	1,41%	0,015	0,000
Penta PCB 126*	0	0,0%	0,00%	0,000	0,000
Esa PCB 128	2	0,3%	0,01%	0,001	0,000
Esa PCB 138	563	91,7%	13,13%	0,588	0,357
Esa PCB 146 §	303	49,3%	0,88%	0,067	0,000
Esa PCB 153	595	96,9%	24,30%	1,087	0,638
Esa PCB 156*	406	66,1%	1,86%	0,117	0,082
Esa PCB 157*	62	10,1%	0,05%	0,010	0,000
Esa PCB 167 *	127	20,7%	0,17%	0,020	0,000
Esa PCB 169 *	0	0,0%	0,00%	0,000	0,000
Epta PCB 170	457	74,4%	6,35%	0,399	0,237
Epta PCB 172 §	182	29,6%	0,46%	0,046	0,000
Epta PCB 177 §	34	5,5%	0,04%	0,014	0,000
Epta PCB 180	580	94,5%	27,41%	1,479	0,769
Epta PCB 183 §	263	42,8%	0,68%	0,061	0,000
Epta PCB 187 §	430	70,0%	2,91%	0,226	0,108
Epta PCB 189 *	51	8,3%	0,04%	0,010	0,000
Octa PCB 194	378	61,6%	4,66%	0,382	0,179
Octa PCB 201 §	363	59,1%	2,16%	0,195	0,090
Nona PCB 206	59	9,6%	0,11%	0,027	0,000
Deca PCB 209	316	51,5%	2,12%	0,254	0,054
Octa PCB 196+203 §	187	30,5%	0,60%	0,076	0,000

* PCB diossino simili

§ Congeneri non testati nella precedente indagine del 2003

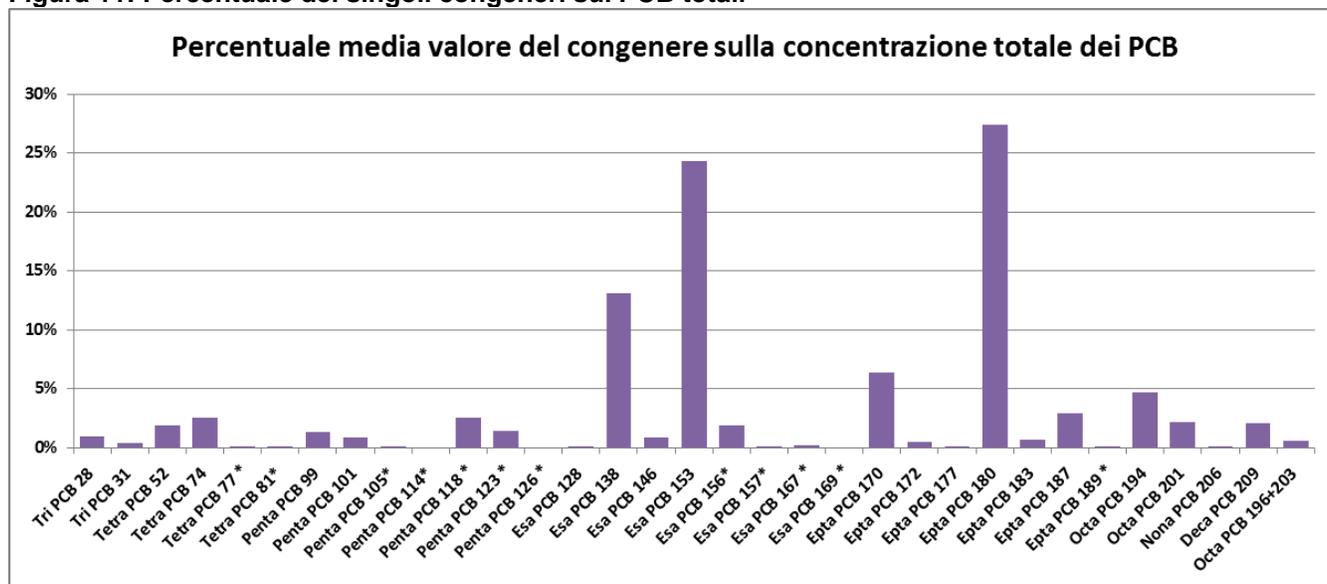
Nella presente indagine sono stati indagati i valori di 33 diversi congeneri, 9 in più rispetto all'indagine del 2003, con un contributo non irrilevante, infatti questi ultimi hanno contribuito per 11,7% al valore dei PCB totali.

Per alcuni congeneri (52, 77, 81, 101, 114, 123, 153, 156, 157, 167, 170, 189, 209) il limite di quantificazione nel 2013 è stato ridotto da 0,1 a 0,05 ng/mL.

Si noti inoltre come:

- 12 congeneri sono stati rilevati in almeno la metà dei soggetti, mentre alcuni congeneri sono stati rilevati solo in pochi soggetti. I congeneri 114, 126 e 169 non sono mai stati rilevati;
- tre congeneri (138, 153 e 180) rappresentano da soli il 64,8% del valore totale dei PCB sierici; i seguenti 11 congeneri più frequenti (170, 194, 187, 74, 118, 201, 209, 156, 52, 123, 99) rappresentano il 29,8% del valore totale dei PCB sierici, mentre i 19 congeneri meno rilevabili rappresentano complessivamente solo il 5,4% del totale.
- I congeneri diossina simili (segnati con asterisco *) sono scarsamente rappresentati ed in particolare non sono stati rilevati in alcun soggetto i congeneri con maggiore TEF (il 126 ed il 169).

Figura 11: Percentuale dei singoli congeneri sui PCB totali

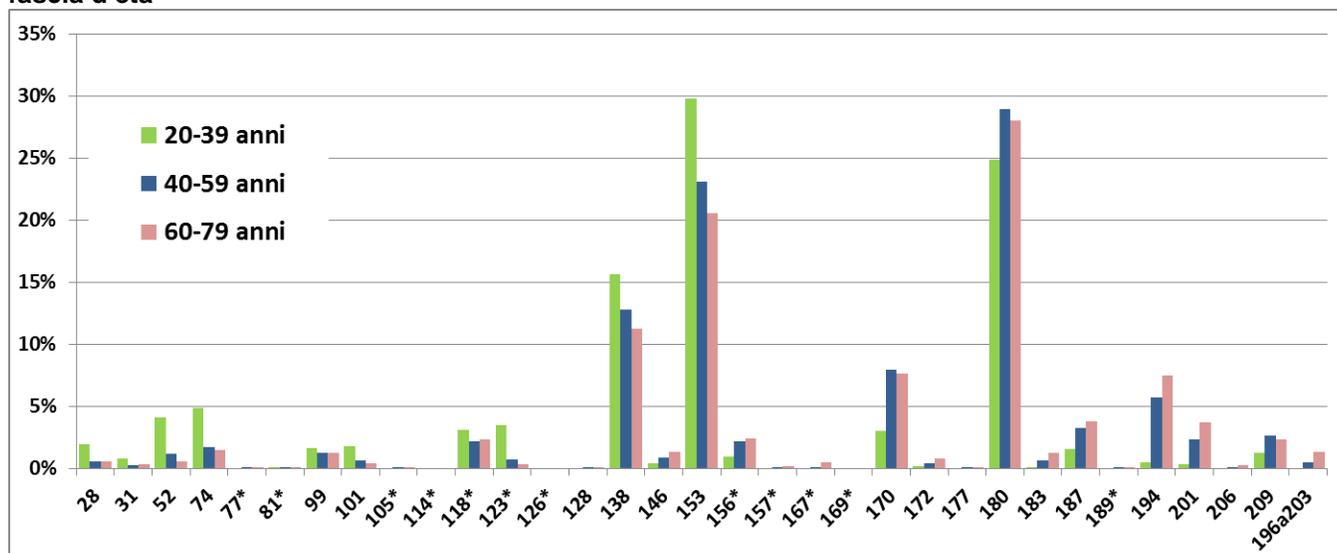


Congeneri per fascia d'età

I congeneri 138, 153 e 180 sono i più presenti in tutte le fasce d'età. I congeneri a bassa clorurazione (<100) così come quelli ad alta clorurazione (dal 183 in su) sono invece scarsamente rappresentati.

Si noti come i congeneri a minor grado di clorurazione siano percentualmente più alti nei soggetti più giovani (figura 12 a sinistra), mentre, al contrario, i congeneri altamente clorurati siano maggiormente presenti nelle fasce d'età più avanzate.

Figura 12: Percentuale media del valore di ciascun congenere di PCB sulla concentrazione totale per fascia d'età

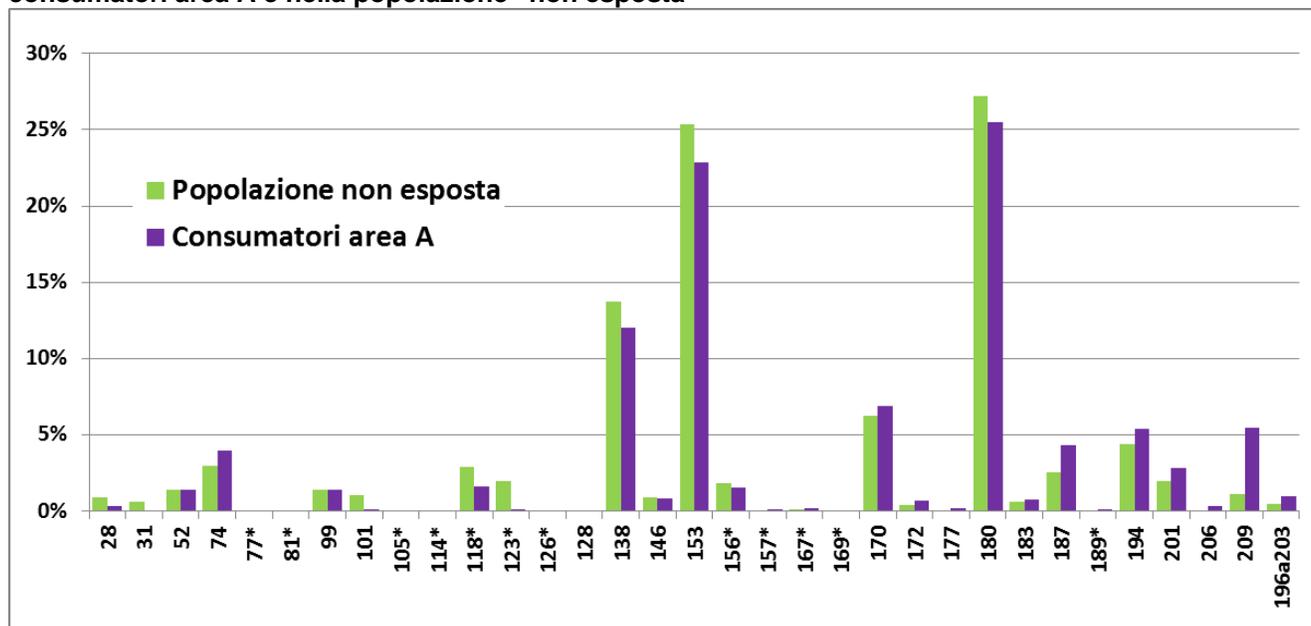


Congeneri nella popolazione di “non esposta” rispetto ai consumatori di alimenti prodotti nell’area A

Come già fatto notare i valori medi assoluti dei PCB totali erano il doppio nella popolazione dei consumatori di alimenti prodotti nell’area A rispetto alla popolazione “non esposta”. L’età è simile nei due gruppi (50 anni consumatori di prodotti dell’area A e 48 anni popolazione “non esposta”).

Tra questi due gruppi il profilo dei singoli congeneri risulta molto simile ad eccezione del congenere 209 (tipico della Caffaro) che è molto più rilevante nei consumatori di alimenti prodotti nell’area A (5,5% dei PCB totali, con un valore medio di 1,5 µg/L) rispetto alla popolazione “non esposta” (1,1% dei PCB totali, con un valore medio di 0,05 µg/L).

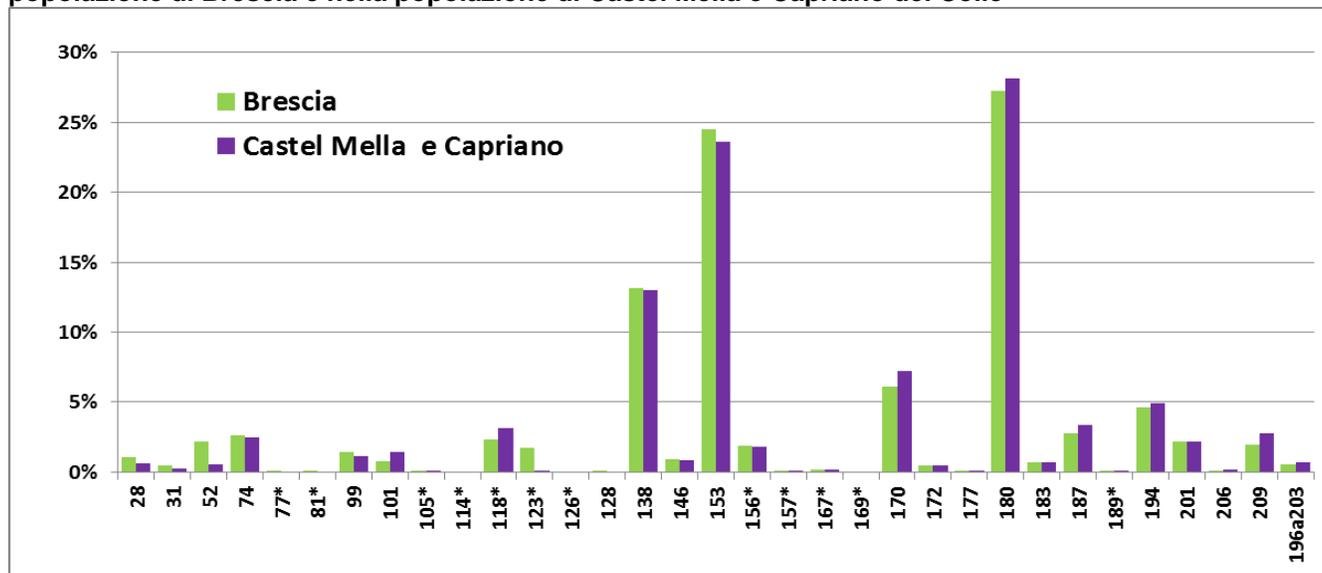
Figura 13: Percentuale media del valore di ciascun congenere di PCB sulla concentrazione totale nei consumatori area A e nella popolazione “non esposta”



Congeneri Castel Mella/Capriano del Colle vs Brescia

Non si sono notate differenze nella distribuzione dei congeneri tra la popolazione di Brescia e quella di Castel Mella e Capriano del Colle.

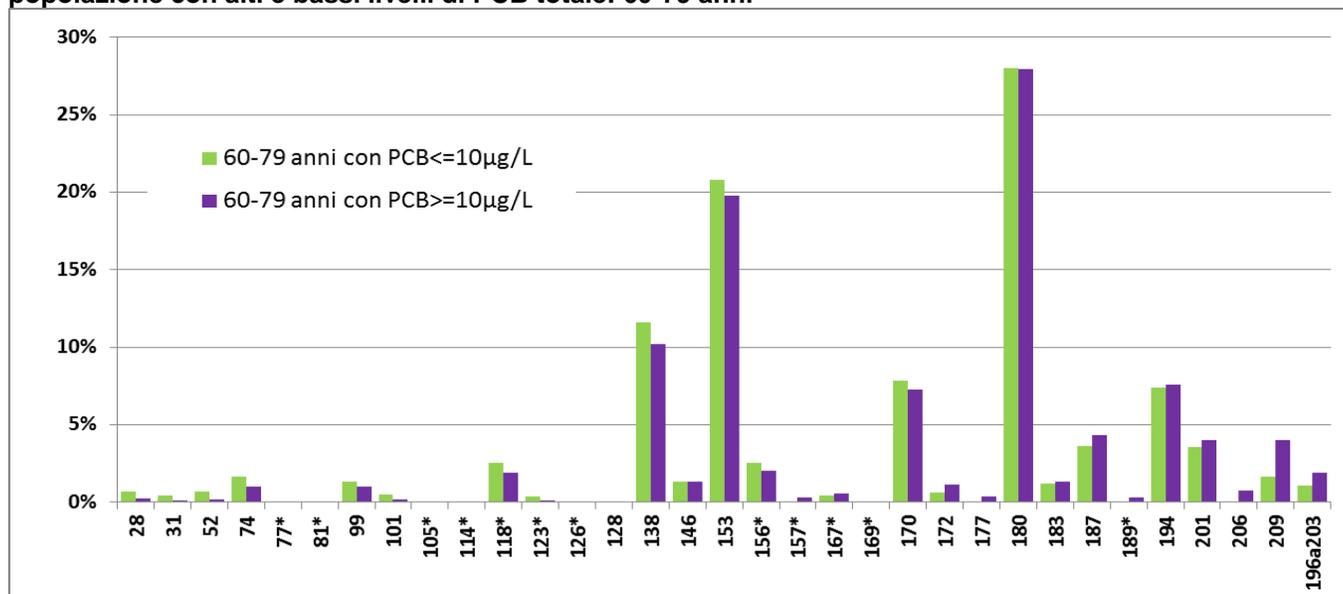
Figura 14: Percentuale media del valore di ciascun congeneri di PCB sulla concentrazione totale nella popolazione di Brescia e nella popolazione di Castel Mella e Capriano del Colle



Congeneri nella popolazione con bassi ed alti livelli di PCB sierici totali (età 60-79 anni)

Limitando analisi ai soli soggetti di età compresa tra i 60 e i 79 si nota come sia simile il profilo dei congeneri, anche se il congeneri 209 ha percentualmente un peso maggiore nei soggetti con livelli di PCB sierico più elevati.

Figura 15: Percentuale media del valore di ciascun congeneri di PCB sulla concentrazione totale nella popolazione con alti e bassi livelli di PCB totale: 60-79 anni



4. TEQ (TOSSICITÀ EQUIVALENTE)

4.1. Distribuzione generale della Tossicità Equivalente (TEQ)

Come si può notare (tabella 23) i valori TEQ secondo WHO/OMS-1998 rispecchiano quanto notato per i valori dei PCB totali, con fortissima correlazione tra i due valori (Spearman=0,94).

Si tenga presente che utilizzando i TEF WHO/OMS del 2005 la TEQ risulterebbe di circa 10 volte più bassa.

Tabella 23: Valori TEQ totali (pg/gr lipidi)

	N. di soggetti	Mediana	Media geometrica	Media aritmetica	DS	Range min - max		75° centile	95° centile
Totale TEQ (WHO 1998)	614	7,7	8,7	11,7	21,2	0,0	297,9	13,7	38,1
Totale TEQ (WHO 2005)	614	0,8	1,1	1,3	2,4	0,0	40,0	1,6	4,1

Analogamente a quanto visto per i valori totali di PCB sierico, anche la TEQ mostra una distribuzione non normale sia per i valori originali sia per la trasformata logaritmica (**figure 16a e 16b**).

Figura 16: Frequenza dei valori di TEQ (A) e della corrispettiva trasformata logaritmica (B)

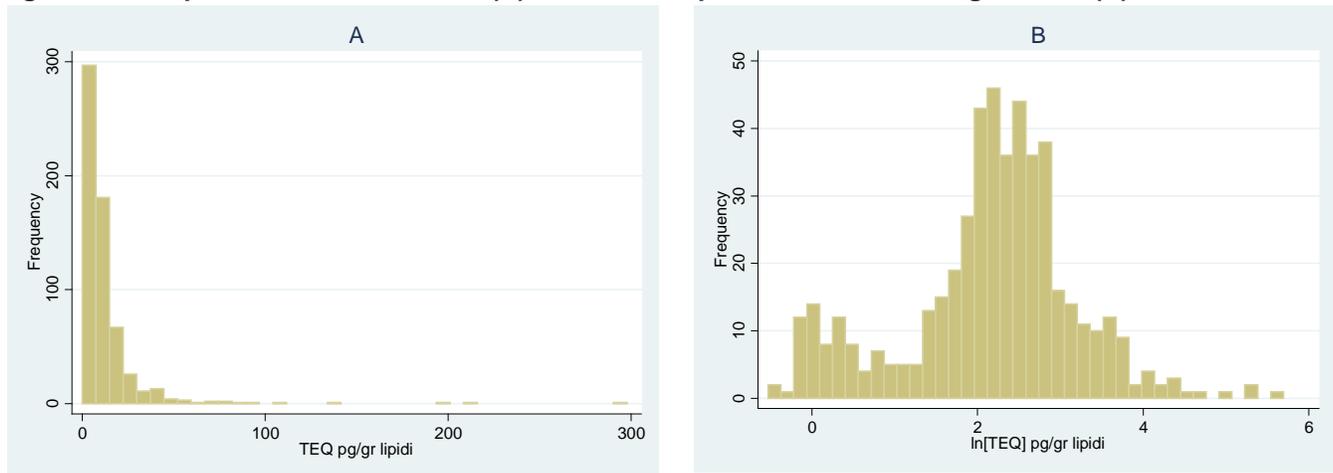
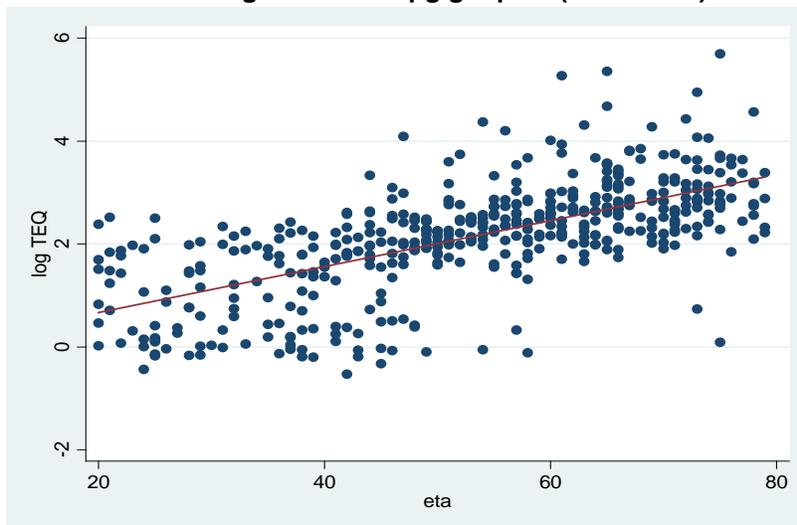


Tabella 24: Valori dei TEQ (pg/gr lipidi) per categoria d'età-(WHO 1998)

	N. di soggetti	Mediana	Media aritmetica	DS	Range min - max		75° percentile	95° percentile
20-29	99	0,00	1,76	2,79	0,00	12,41	2,30	7,72
30-39	91	0,98	2,39	3,18	0,00	11,32	4,14	9,45
40-49	116	5,64	6,12	7,37	0,00	59,87	9,21	13,95
50-59	109	9,42	12,02	11,21	0,00	79,54	13,06	34,38
60-69	113	14,74	22,31	28,92	0,00	212,38	22,34	55,57
70-79	86	17,08	25,97	35,87	1,09	297,90	26,76	58,98

Figura 17: Correlazione dei valori del logaritmo TEQ pg/gr lipidi (WHO 1998) con l'età (R=0,76)



Come anche per i valori di PCB sierici totali anche per la tossicità equivalente è stata riscontrata una correlazione positiva con l'età (R di Spearman=0,76, figura 17 e tabella 24).

4.2 TEQ e consumo di alimenti prodotti localmente

Così come per i valori sierici totali di PCB, anche per la TEQ è stata valutata la possibile associazione con il consumo di alimenti a produzione locale.

Come si può notare nella tabella 25:

- I “Non consumatori” avevano valori centrali ed estremi di TEQ simili a quelli misurati nei “Consumatori alimenti aree non confinanti”;
- I “Consumatori di alimenti a Sud della Caffaro” avevano valori mediani circa 50% più elevati rispetto ai “Non consumatori” e ai “Consumatori di alimenti prodotti in aree non confinanti” e il 95° percentile 9 volte più elevato.
- Nei “Consumatori di alimenti prodotti a Castel Mella e Capriano del Colle” sono stati misurati valori mediani di TEQ sovrapponibili a quelli dei “Consumatori di alimenti nelle aree confinanti”.

Tabella 25: Valori TEQ (pg/gr lipidi) per consumo di alimenti prodotti nelle diverse aree (WHO 1998)

		N. di soggetti	Valori di TEQ (pg/gr lipidi)						
			Mediana	Media	DS	Range min - max	75° centile	95° centile	
NON CONSUMATORI		312	7,2	8,4	10,0	0,0	107,4	11,7	23,1
CONSUMATORI DI ALIMENTI PRODOTTI IN	Aree non confinanti (D)	66	6,7	7,7	8,3	0,0	39,0	11,4	25,0
	Aree confinanti (B+C)	116	7,6	12,5	17,5	0,0	140,7	16,9	41,6
	Area a sud Caffaro (A)	48	9,8	30,3	59,0	0,0	297,9	23,9	194,6
	Castel Mella Capriano del Colle (E)	72	11,6	15,9	16,4	0,0	84,0	23,2	45,4

5. CONFRONTO CON VALORI DI RIFERIMENTO ITALIANI ED INTERNAZIONALI

La Società Italiana Valori di Riferimento (S.I.V.R.) ha pubblicato nel 2011 la “TERZA LISTA DEI VALORI DI RIFERIMENTO PER COMPOSTI ORGANICI E LORO METABOLITI” comprendente anche i valori (5° e 95° percentile) di PCB espressi in ng/g lipidi [7].

Nella tabella 26 si riportano i valori di riferimento S.I.V.R. e gli analoghi valori ottenuti per la popolazione bresciana:

- i livelli per tutta la popolazione Bresciana partecipante all’indagine sono simili ai valori riscontrati per le aree fortemente industrializzate sia per i PCB totali (nonostante un numero maggiore di congeneri esaminati) che per i PCB diossino simili
- i livelli della popolazione di riferimento bresciana sono simili ai livelli di riferimento delle zone poco industrializzate sia per i PCB totali che per i PCB diossino simili.

Tabella 26: Confronto tra valori di PCB (ng/gr lipidi) della popolazione bresciana con i valori di riferimento italiani (S.I.V.R.)

	Tipo popolazione	N. congeneri	PCB totali 5° - 95° percentile	PCB (Dioxine like) 5° - 95°percentile
S.I.V.R. 2005	zona fortemente industrializzata	24	130 - 2.650	15 - 195
S.I.V.R. 2011	zona poco industrializzata	31	50 - 1.570	1 - 125
Brescia 2013	Popolazione complessiva indagine (614 soggetti)	33	55 - 2.242	0 - 131
	Popolazione “non esposta” (304 soggetti)	33	48 - 1.398	0 - 85

Il confronto tra i valori dei tre congeneri di PCB più frequenti, che da soli rappresentano il 65% dei PCB totali a Brescia, con i medesimi valori in altre aree italiane (tabella 27) evidenzia come i valori di Brescia siano simili rispetto alle altre zone del Nord Italia, ma più elevati rispetto alle 2 zone del Sud Italia considerate. Nelle ultime righe della suddetta tabella vengono riportati anche i valori di tali congeneri riscontrati in altri paesi europei e negli Stati Uniti d’America: i valori bresciani sono simili rispetto ai valori francesi, più elevati di quelli rilevati in Spagna, mentre i valori americani sono nettamente più bassi.

In molti studi sono stati analizzate le TEQ per i PCB diossina–simili: nella maggior parte degli studi sono stati utilizzati i fattori di conversione dell’OMS del 1998 (WHO 1998 TEF) anche se recentemente viene spesso utilizzata anche la TEF WHO 2005.

Risulta utile confrontare le TEQ da PCB riscontrate a Brescia con quelle rilevate in altre aree italiane e del mondo (tabella 28), nel confronto bisogna tener conto che, come ben evidenziato nella revisione di Consonni et al [13], è in atto una progressiva riduzione dei valori di TEQ col passare del tempo e che in Europa vi sono valori più elevati rispetto ad altri continenti.

I valori di TEQ da PCB ottenuti tramite dati individuali sono necessariamente inferiori rispetto a quelli misurati su pool di più campioni, i quali peraltro dipendono dal numero di campioni utilizzati per formare i pool. Infatti, l’analisi cumulativa di campioni di siero di numerosi soggetti messi insieme porta a rilevare anche piccole quantità di quei congeneri che non sono mai stati riscontrati a livello individuale: mettendo insieme campioni che singolarmente presentano valori, per certi congeneri, al di sotto del limite di rilevazione, e quindi considerati “assenti” in termini analitici, si può ottenere un

insieme che presenta, per semplice somma, un valore complessivo superiore al limite di rilevazione, e quindi misurabile. Ciò risulta poco rilevante per la concentrazione complessiva dei congeneri dei PCB misurati in valori volumetrici, ma causa sensibili differenze nella misurazione della tossicità diossina-simile per i congeneri con alti fattori di tossicità (TEF), come i PCB 126 e 169: la TEQ complessiva di un campione da pool può quindi risultare anche 2-3 volte superiore a quella misurata nei singoli campioni. Per questa ragione le TEQ ottenute tramite dati individuali e pool non sono propriamente confrontabili tra loro.

Tabella 27: Valori dei 3 congeneri di PCB più frequenti (ng/gr lipidi) nella popolazione bresciana, in altre aree d'Italia, d'Europa e degli USA su dati individuali.

Luogo	Referenza studio	Popolazione (n)	Valori CONGENERI: mediana e [95° percentile]		
			PCB138	PCB153	PCB180
Brescia, 2013	Presente studio	campionata 20-79 (614)	58 [242]	98 [486]	123 [631]
		"non esposta" (304)	48 [155]	85 [284]	100 [379]
Novafeltria	Mrema et al,2014 [8]	Volontari (162)	63	96	75
Pavia		Volontari (164)	106	142	102
Milano		Volontari (41)	192	241	159
Campania	Esposito et al,2014 [9]	volontari sani (58)	28	42	43
Sicilia	Amodio et al,2012 [10]	Campionamento casuale(101)	22	33	23
FRANCIA, 2006/7	INVS, 2011 [11]	popolazione 18-74 anni scelta tramite campionamento (386)	73 [194]	129 [287]	112 [274]
Barcellona, SPAGNA 2006	Porta et al, 2012 [12]	popolazione >18 anni (231)	51	78	63
USA 2003/4	NHANES, 2013 [13]	Popolazione >20 anni, scelta tramite campionamento (1300)	18 [77]	24 [101]	22 [88]

Tabella 28: Valori TEQ da PCB (pg/gr lipidi) nella popolazione bresciana ed in altre popolazioni secondo TEF OMS del 1998 e del 2005.

Luogo	Referenza studio	Popolazione (n)	Valori TEQ mediana e [95° percentile]	
			TEF WHO 1998	TEF WHO 2005
Brescia, 2013	Presente studio	popolazione 20-79 anni (614)	7,7 [38,1]	0,80 [4,1]
		Pop. "non esposta" (304)	6,9 [20,1]	0,72 [2,62]
Campania	Esposito et al, 2014 [9]	volontari sani (58)	7,3	
dati mondiali 1989-2010	Consonni et al, 2012 [14]	Revisione di 187 studi da 26 paesi per 29.687 soggetti		1,9 [12,1]
Germania 2005	Fromme et al,2009 [15]	soggetti 14-60 anni (50)	9,5 [26,2]	
Slovacchia 2006-7	Chovancova et al,2012 [16]	soggetti 24-74 anni (125)	19,5	
USA 2001-2002	Ferriby et al, 2007[17]	>20 anni, rappresentativa (1.081)	8,8	
Taiwan, 2001-2006	Hsu et al, 2009 [18]	popolazione generale adulta (251)	6,1	
Giappone, 2002-2006	Uemura et al,2009 [19]	15-73 anni (1.374)	7,6	

B- CONFRONTO DEI LIVELLI DI PCB SIERICI NEL 2013 RISPETTO AL 2003 NEI RESIDENTI DEL COMUNE DI BRESCIA

B-1: DIFFERENZE METODOLOGICHE

Per poter effettuare un confronto tra i due studi è necessario tener conto di alcune differenze tra i medesimi e degli accorgimenti utilizzati nella seguente analisi per rendere i dati confrontabili.

- Soggetti residenti a Castel Mella e Capriano del Colle: considerato che nessuna area di questi comuni era stata coinvolta nello studio del 2003, si è ritenuto di non includerle in questo confronto.
- Numero di congeneri esaminati: i PCB totali sono la somma dei singoli congeneri rilevati. Nel 2003 i congeneri ricercati erano 24 mentre nel 2013 sono stati 33. I “nuovi” 9 congeneri testati nel 2013 rappresentano una quota rilevante del valore dei PCB totali nel 2013 (circa il 12%). Per poter effettuare il confronto si è quindi utilizzata, quale PCB totale, la somma dei 24 congeneri testati in entrambi gli studi.
- Diversa sensibilità del laboratorio nella determinazione dei congeneri: nel 2003 il limite di quantificazione era per tutti i congeneri di 0,1 ng/mL. Per alcuni dei 24 congeneri (PCB-52, PCB-77, PCB-81, PCB-101, PCB-114, PCB-123, PCB-153, PCB-156, PCB-157, PCB-167, PCB-170, PCB-189, PCB-209) il limite di quantificazione nel 2013 è stato ridotto a 0,05 ng/mL. Per rendere più accurato il confronto, qualora nel 2013 il valore dei precedenti congeneri fosse stato inferiore a 0,1 ng/mL, è stato riclassificato in “non rilevabile”.
- Esclusione di alcuni soggetti con dati incompleti: la metodologia seguita nel 2003 prevedeva che il prelievo ematico fosse eseguito prima dell’intervista. Dei 579 soggetti per i quali è stata fatta la determinazione dei PCB sierici, 42 hanno poi rifiutato di sottoporsi all’intervista con questionario. Il numero di soggetti inclusi nel 2003, che sono qui oggetto di confronto con i dati del 2013, sono quindi i 537 di cui sono disponibili le informazioni complete (in primis il consumo di alimenti prodotti localmente).

B.2 PARTECIPAZIONE

Nel 2003 la percentuale di adesione era stata notevolmente superiore in tutte le aree, rispetto a quanto riscontrato nel 2013 (tabella 29).

Va fatto comunque rilevare che nel 2003 la percentuale era stata calcolata sui residenti effettivamente reperibili: dal campione iniziale di 1.200 soggetti ne erano state esclusi 308 risultati irreperibili o deceduti.

Considerando il numero iniziale di soggetti campionati (1.200), la percentuale di adesione sul campione iniziale era del 44,8%, di poco superiore a quella dell'indagine del 2013 (P=0,01).

Tabella 29 – Partecipazione alle indagini del 2003 e del 2013

Anno indagine		AREA DI RESIDENZA				Totale
		A	B	C	D	
2003	N° soggetti reperibili	188	226	242	236	892
	N° aderenti	117	158	132	130	537
	% aderenti	62,2%	69,9%	54,5%	55,1%	60,2%
2013	N° campionati	293	313	312	312	1230
	N° aderenti	114	129	129	116	488
	% aderenti	38,9%	41,2%	41,3%	37,2%	39,7%

B.3 CONFRONTO VALORI PCB SIERICI

B.3.1. Popolazione generale

Nel 2013 si è notata, rispetto al 2003, una generale diminuzione dei valori dei PCB sierici con un dimezzamento sia dei valori centrali (mediana, medie) che di quelli estremi quali il 95° centile e il valore massimo (P=0,0001).

La percentuale di soggetti oltre il limite nel 2013 è tre volte più bassa rispetto al 2003, sia utilizzando il valore limite di 15µg/L (P<0,0001) che quello di 10µg/L (P<0,0001).

Tabella 30: Valori PCB (µg/L) sierici del totale dei partecipanti nelle indagini del 2003 e del 2013

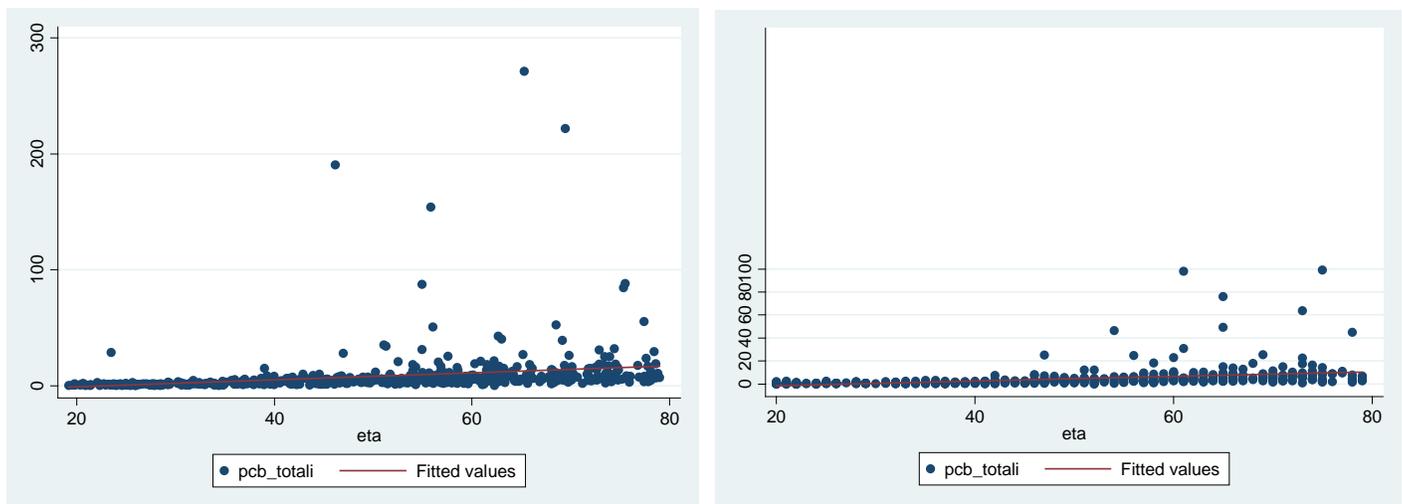
Anno	Numero di soggetti	Valori di PCB sierici (µg/L)								Percentuale con PCB > valori soglia	
		Mediana	Media geometrica	Media aritmetica	DS	Range min - max	75° centile	95° centile	≥ 15µg/L	≥ 10µg/L	
2003	537	4,8	4,2	8,5	20,1	0,1	271,2	8,0	23,7	10,1%	18,1%
2013	488	2,4	2,2	4,5	9,1	0,0	99,0	5,0	11,6	3,5%	6,3%
<i>Variazione</i>		<i>-50%</i>	<i>-48%</i>	<i>-47%</i>			<i>-63%</i>	<i>-38%</i>	<i>-51%</i>	<i>-65%</i>	<i>-65%</i>

Nel 2013 tanto i valori centrali quanto quelli estremi risultavano più bassi per tutte le categorie d'età con una variazione maggiore per i valori mediani nelle età più giovani rispetto a quelle più avanzate (tabella 31 e figura 18).

Tabella 31: Valori mediani e 95° percentile dei PCB (µg/L) per età nelle indagini del 2003 e del 2013

Età	N. di soggetti		Mediana			95° percentile		
	2003	2013	2003	2013	variazione	2003	2013	variazione
20-29	76	77	1,0	0,5	-50%	2,8	1,9	-32%
30-39	78	71	2,0	0,7	-66%	6,5	2,4	-63%
40-49	80	94	4,3	1,9	-57%	9,3	6,9	-25%
50-59	120	85	5,8	3,3	-43%	28,3	12,3	-57%
60-69	109	92	7,5	5,2	-31%	39,2	25,4	-35%
70-79	74	69	8,2	6,3	-23%	31,9	22,7	-29%

Figura 18: Distribuzione PCB (µg/L) per età nel 2003 (sinistra) e nel 2013 (destra)



B.3.2 Area di residenza

L'analisi per aree (tabella 32) conferma una generale forte diminuzione per tutte le aree, seppur meno forte per l'area a Sud della Caffaro ove il 95° percentile si è mantenuto stabile.

Tabella 32: Valori PCB ($\mu\text{g/L}$) per area di residenza nelle indagini del 2003 e del 2013

	AREE	Area Sud Caffaro	Quartiere Primo Maggio	Ex 5° Circoscrizione	Circoscrizioni non confinanti
2003	N° soggetti	117	158	132	130
	Mediana	5,2	4,5	4,8	4,6
	Media aritmetica	11,8	6,6	9,5	6,7
	DS	25,4	7,5	30,1	9,8
	Range	0,13-190,7	0,42-55,3	0,3-271,2	0,1-84,6
	75° percentile	8,6	8,0	8,2	7,5
	95° percentile	43,0	18,7	17,3	16,8
2013	N° soggetti	114	129	129	116
	Mediana	2,7	2,5	2,1	2,3
	Media aritmetica	7,6	3,4	3,9	3,2
	DS	16,2	4,2	6,4	3,0
	Range	0-99,0	0-30,8	0-63,6	0-18,2
	75° percentile	6,1	4,4	4,9	5,0
	95° percentile	45,0	9,2	11,6	8,1
<i>Variazione della mediana nel 2013 rispetto al 2003</i>		-49%	-45%	-56%	-50%
<i>Kruskal-Wallis test P</i>		0,0005	0,0001	0,0001	0,0001

L'analisi per soggetti con valori oltre il valore limite (sia di $15\mu\text{g/L}$ che di $10\mu\text{g/L}$) confermava la generale diminuzione per tutte le aree, seppur meno forte per l'area a Sud della Caffaro (tabella 33).

Tabella 33 – Percentuali di soggetti con valori di PCB ($\mu\text{g/L}$) oltre livelli soglia per area di residenza nelle indagini del 2003 e del 2013

		Area Sud Caffaro	Quartiere I Maggio	Ex 5° Circoscrizione	Circoscrizioni non confinanti	
2003	N° soggetti	117	158	132	130	
	% oltre $15\mu\text{g/L}$	17,9%	10,8%	6,1%	6,2%	
	% oltre $10\mu\text{g/L}$	23,1%	19,6%	15,9%	13,8%	
2013	N° soggetti	114	129	129	116	
	% oltre $15\mu\text{g/L}$	8,8%	2,3%	2,3%	0,9%	
	% oltre $10\mu\text{g/L}$	13,2%	3,9%	6,2%	2,6%	
<i>Variazione della percentuale oltre soglia e valore P (2013 vs 2003)</i>		$15\mu\text{g/L}$	-51% P=0,04	-78% P=0,005	-62% P=0,1	-86% P=0,03
		$10\mu\text{g/L}$	-43% P=0,05	-80% P<0,0001	-61% P=0,01	-81% P=0,002

La sotto analisi per età e aree ha confermato questo andamento in ogni area:

Nel 2013, nella fascia d'età 20-39 anni, i livelli di PCB sierici (tabella 34) appaiono inferiori di più del 50% sia per i valori centrali che estremi ed in maniera simile tra le varie aree rispetto a quanto visto nel 2003. Nel 2013 nessun soggetto sotto i 40 anni ha presentato livelli di PCB sierici superiori a 5 µg/L. Mentre nel 2003 si osservavano valori maggiori nell'area Sud Caffaro, nel 2013 i livelli di PCB tra i soggetti residenti nelle diverse aree erano del tutto simili (P=0,13).

Tabella 34: Valori PCB (µg/L) per area di residenza nel 2003 e nel 2013 per soggetti d'età 20-39 anni

	AREE	Sud Caffaro	Q. I Maggio	Ex 5° circoscrizione	Aree non confinanti
2003	N° soggetti	30	47	39	38
	Mediana	1,6	1,4	1,4	1,5
	Media	3,0	1,8	1,9	1,9
	DS	5,2	2,2	1,4	1,5
	Range	0,3-28,9	0,4-15,2	0,4-6,5	0,3-8,6
	75° percentile	3,1	2,1	2,6	2,5
	95° percentile	8,1	3,1	5,5	5,3
2013	N° soggetti	32	40	42	34
	Mediana	0,6	0,5	0,7	0,6
	Media	0,8	0,6	0,9	0,7
	DS	0,7	0,6	0,6	0,5
	Range	0-3,0	0-2,4	0-3,1	0-1,9
	75° percentile	0,8	0,7	1,0	1,0
	95° percentile	2,4	2,2	2,1	1,6
Variazione della mediana		-61%	-64%	-49%	-64%
Kruskal-Wallis test P		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Anche per i soggetti tra i 40-59 anni (tabella 35) vi è stato un generale abbassamento dei valori di PCB sierici sia per i valori centrali sia estremi. La diminuzione è stata maggiore nell'area a Sud della Caffaro e nelle aree con essa confinanti. Nel 2013 i livelli di PCB sierici tra i soggetti residenti nelle aree confinanti sono risultati simili rispetto a quelli residenti nelle aree non confinanti a differenza di quanto osservato nel 2003; solo i residenti nell'area a Sud della Caffaro hanno presentato livelli estremi superiori rispetto a quelli delle altre aree.

Tabella 35: Valori PCB (µg/L) per area di residenza nel 2003 e nel 2013 per soggetti d'età 40-59 anni

	AREE	Sud Caffaro	Q. I Maggio	Ex 5° circoscrizione	Aree non confinanti
2003	N° soggetti	48	53	50	49
	Mediana	5,3	5,0	5,1	5,3
	Media	15,3	7,1	6,2	5,6
	DS	36,2	6,9	4,8	3,8
	Range	1,0-190,7	0,7-35,2	1,5-31,2	0,9-25,5
	75° percentile	6,9	7,4	8,5	6,7
	95° percentile	87,6	20,7	13,7	9,9
2013	N° soggetti	39	44	46	50
	Mediana	2,4	2,5	2,1	2,7
	Media	5,4	2,9	2,9	3,1
	DS	8,7	2,0	2,5	2,7
	Range	0,4-46,5	0,1-9,6	0,6-12,2	0-18,2
	75° percentile	5,4	4,4	3,8	4,0
	95° percentile	25,0	6,3	8,3	6,1
Variazione della mediana		-54%	-49%	-58%	-49%
Kruskal-Wallis test P		0,003	0,0001	0,0001	0,0001

Per i soggetti tra i 60-79 anni (tabella 36) residenti nell'area a Sud della Caffaro i valori mediani e il 75° percentile sono diminuiti mentre il 95° percentile è aumentato; per i residenti nelle altre aree vi è stato un generale abbassamento dei valori di PCB sierici sia centrali sia estremi.

Tabella 36: Valori PCB ($\mu\text{g/L}$) per area di residenza nel 2003 e nel 2013 per età 60-79 anni

	AREE	Sud Caffaro	Q. I Maggio	Ex 5° circoscrizione	Aree non confinanti
2003	N° soggetti	39	58	43	43
	Mediana	8,1	7,9	7,9	7,8
	Media	14,4	10,2	20,1	12,2
	DS	15,6	8,7	51,1	14,8
	Range	1,1-88,2	1,3-55,3	0,3-271,2	3,3-84,6
	75° percentile	17,6	12,8	13,0	12,9
	95° percentile	43,0	27,0	25,3	40,3
2013	N° soggetti	43	45	41	32
	Mediana	5,8	4,1	5,8	6,4
	Media	14,7	6,2	8,2	6,1
	DS	23,5	5,7	9,8	2,3
	Range	1,7-99,0	1,5-30,8	0,8-63,6	2,2-11,2
	75° percentile	10,5	6,9	9,4	7,7
	95° percentile	76,0	16,6	17,5	10,6
Variazione della mediana		-29%	-48%	-26%	-18%
Kruskal-Wallis test P		0,07	0,0003	0,01	0,02

Si ricorda che i maggiori livelli nell'area A, rilevati nel 2013 nelle fasce d'età oltre i 40 anni, sono determinati da relativamente pochi soggetti con valori elevati, infatti le mediane tra le aree sono simili.

B.3.3 Consumo di alimenti prodotti localmente

In tabella 35 si sono riportati i valori di PCB sierici nei soggetti considerati quali popolazione “non esposta” al SIN Caffaro da cui sono stati esclusi: i residenti nell'area Caffaro, coloro che avevano consumato alimenti prodotti nelle aree inquinate (area Sud Caffaro o confinanti), coloro che avevano avuto un lavoro in azienda Caffaro. Si noti come vi sia stata una diminuzione di circa la metà dei valori sia centrali che estremi (Kruskal-Wallis test $P=0,0001$).

Tabella 35: Valori PCB ($\mu\text{g/L}$) nei soggetti “non esposti” nelle indagini del 2003 e del 2013

Anno	Numero di soggetti	Mediana	Media aritmetica	DS	Range min - max	75° percentile	95° percentile
2003	317	4,3	5,7	6,9	0,1 84,6	7,2	14,9
2013	253	2,2	2,8	2,5	0,0 14,1	4,0	7,7
Variazione		-50%	-50%			-83%	-44%

Anche per le diverse categorie di consumatori di cibi prodotti localmente si è osservata una forte diminuzione dei livelli di PCB sierici, confermata anche da analisi multivariate che aggiustavano per età (tabella 38).

Le seguenti figure riassumono la diminuzione avvenuta nello scorso decennio sia per fascia d'età (figura 19) che per consumo di alimenti di produzione locale (figura 20), sia in termini di valori mediani che di 95° centile.

Tabella 38 Valori PCB ($\mu\text{g/L}$) nei soggetti consumatori di alimenti prodotti nelle aree a diversa contaminazione ambientale nel 2003 e nel 2013

LUOGO PRODUZIONE ALIMENTI	Anno	Numero di soggetti	Valori di PCB ematico ($\mu\text{g/L}$)						
			Mediana	Media	DS	Range min - max	75° centile	95° centile	
Area a Sud della Caffaro (A)	2003	35	15,6	29,3	42,2	0,8	190,7	31,2	154,1
	2013	48	4,7	12,6	23,0	0,0	99,0	8,6	76,0
	<i>Variazione (P=0,0008)</i>			<i>-70%</i>	<i>-57%</i>			<i>-48%</i>	<i>-72%</i>
Aree confinanti (B+C)	2003	96	6,1	12,9	35,3	0,3	271,2	11,2	27,0
	2013	114	2,9	4,9	7,5	0,0	63,6	5,8	17,5
	<i>Variazione (P=0,0001)</i>			<i>-53%</i>	<i>-62%</i>			<i>-77%</i>	<i>-48%</i>
Aree NON confinanti (E)	2003	35	6,5	9,8	14,7	0,8	84,6	10,1	40,3
	2013	64	1,9	2,8	2,6	0,0	9,6	3,8	8,1
	<i>Variazione (P=0,0001)</i>			<i>-72%</i>	<i>-72%</i>			<i>-89%</i>	<i>-62%</i>

Figura 19: Valore mediani (A) e 95° centile (B) dei PCB nel 2003 e nel 2013 per fascia d'età

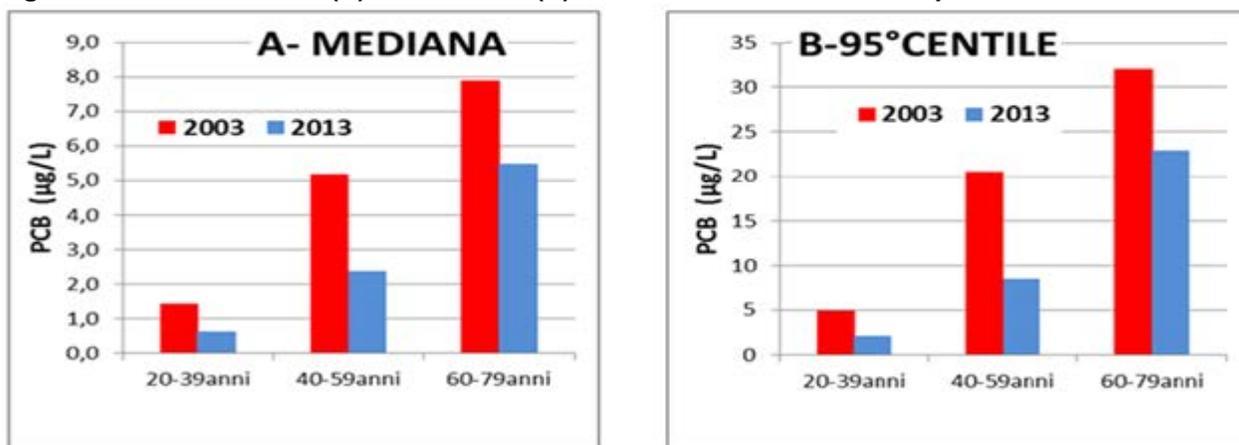
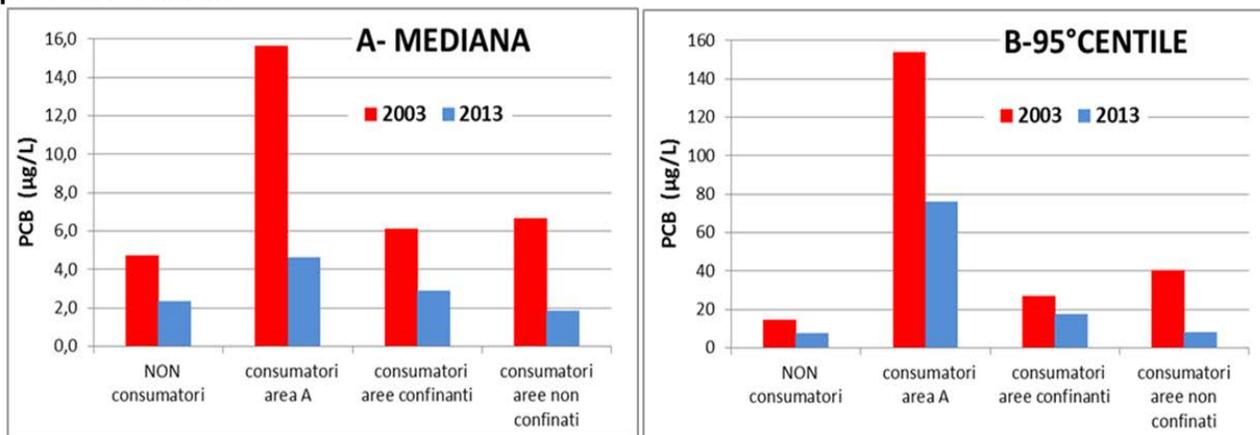


Figura 20: Valore mediani (A) e 95° centile (B) dei PCB nel 2003 e nel 2013 per consumo di alimenti prodotti localmente



B. 4. CONFRONTO TRA IL PROFILO DEI CONGENERI

Analizzando il peso che ogni singolo congenere ha nella determinazione del valore totale di PCB sierici si è notato un profilo del tutto simile nelle due indagini, con i congeneri PCB-138, PCB-153 e PCB-180 che rappresentano più del 75% in entrambe le indagini (tabella 39 e figura 20) .

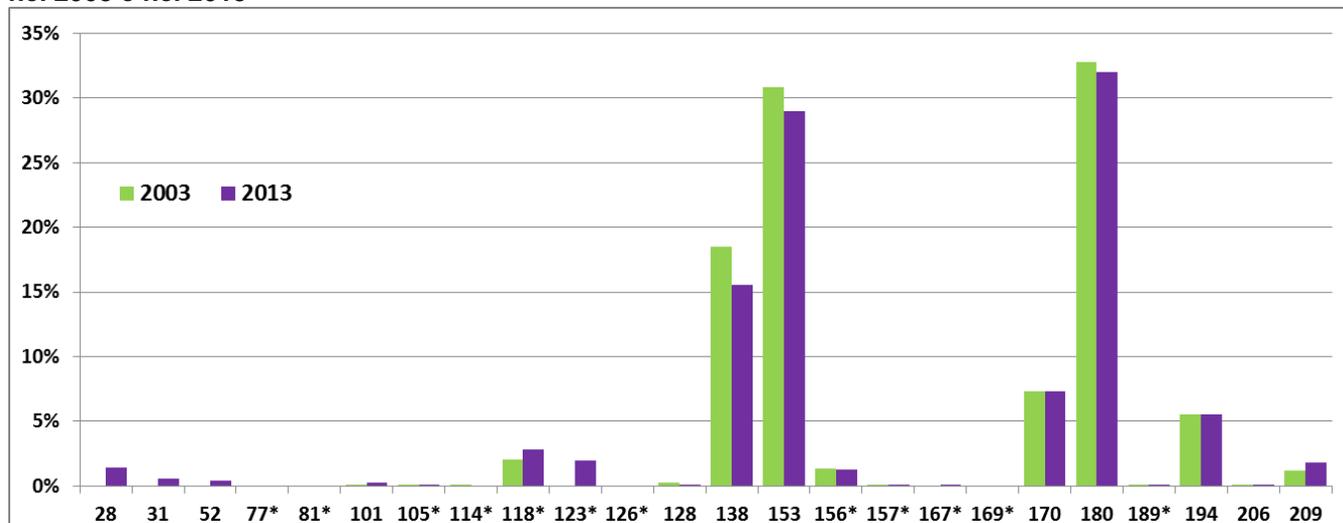
Tabella 39: Profilo congeneri PCB nel 2003 e nel 2013 (24 congeneri analizzati in entrambe le indagini)

2003					2013			
CONGENERE	N° soggetti con livelli rilevabili	% soggetti con livelli rilevabili	valore medio congenere ng/ml	% media valore congenere sulla concentrazione totale dei PCB	N° soggetti con livelli rilevabili	% soggetti con livelli rilevabili	valore medio congenere ng/ml	% media valore congenere sulla concentrazione totale dei PCB
28	0	0,0%	0,00	0,00%	86	17,6%	0,14	1,40%
31	0	0,0%	0,00	0,00%	44	9,0%	0,14	0,58%
52\$	0	0,0%	0,00	0,00%	25	5,1%	0,14	0,36%
77*\$	0	0,0%	0,00	0,00%	0	0,0%	0,00	0,00%
81*\$	0	0,0%	0,00	0,00%	0	0,0%	0,00	0,00%
101\$	6	1,1%	0,00	0,10%	18	3,7%	0,15	0,22%
105*	14	2,6%	0,01	0,04%	8	1,6%	0,24	0,01%
114*\$	2	0,4%	0,00	0,00%	0	0,0%	0,00	0,00%
118*	229	42,6%	0,19	1,99%	318	65,2%	0,16	2,82%
123*\$	0	0,0%	0,00	0,00%	60	12,3%	0,15	1,96%
126*	0	0,0%	0,00	0,00%	0	0,0%	0,00	0,00%
128	91	16,9%	0,04	0,24%	2	0,4%	0,23	0,01%
138	529	98,5%	1,24	18,49%	444	91,0%	0,64	15,52%
153\$	533	99,3%	2,17	30,87%	471	96,5%	1,12	29,01%
156*\$	249	46,4%	0,18	1,33%	198	40,6%	0,24	1,22%
157*\$	37	6,9%	0,02	0,05%	10	2,0%	0,24	0,01%
167*\$	0	0,0%	0,00	0,00%	25	5,1%	0,18	0,05%
169*	0	0,0%	0,00	0,00%	0	0,0%	0,00	0,00%
170\$	391	72,8%	0,73	7,28%	357	73,2%	0,53	7,30%
180	531	98,9%	2,72	32,82%	458	93,9%	1,55	32,03%
189*\$	13	2,4%	0,01	0,02%	13	2,7%	0,24	0,01%
194	299	55,7%	0,71	5,51%	300	61,5%	0,61	5,53%
206	35	6,5%	0,04	0,11%	41	8,4%	0,33	0,12%
209\$	106	19,7%	0,43	1,14%	121	24,8%	1,03	1,83%

* PCB diossino simili

\$ Congeneri per i quali è cambiato il livello di sensibilità rispetto al 2003

Figura 20: Percentuale media valore dei congeneri sulla concentrazione totale dei PCB nella popolazione nel 2003 e nel 2013



5. CONFRONTO TRA TEQ (TOSSICITÀ EQUIVALENTE)

Come per i PCB totali anche i valori di TEQ medi, mediani, il 75° percentile e il 95° percentile sono nettamente scesi nel 2013.

Tabella 40: Valori TEQ totali (pg/gr lipidi) nel 2003 e nel 2013, WHO 1998.

ANNO	Numero di soggetti	Valori di TEQ (pg/gr lipidi)							
		Mediana	Media geometrica	Media aritmetica	DS	Range min - max	75° centile	95° centile	
2003	537	5,2	17,0	17,3	42,4	0,0	440,1	19,1	63,7
2013	488	2,0	5,9	9,6	22,7	0,0	297,9	13,2	32,1
Variazione		-61%	-65%	-44%				-31%	-50%

CONSIDERAZIONI e CONCLUSIONI

I risultati principali di questa prima analisi sono i seguenti:

- **Anche nel 2013 persiste una maggiore concentrazione di PCB sierici nei soggetti che hanno consumato alimenti prodotti nelle aree più contaminate da PCB (Sud Caffaro e confinanti); tale associazione è consistente nei soggetti più anziani ma non nei soggetti con meno di 40 anni.** Ciò suggerisce che l'effetto della contaminazione Caffaro sulla popolazione, attraverso la via alimentare, abbia avuto il suo picco nel passato e sia ora in fase di diminuzione. Tale riscontro non sorprende se si tiene conto che i PCB persistono a lungo nel siero e che nei decenni passati le aree contaminate avevano una produzione agricola rilevante.

Le aree di Castel Mella e Capriano del Colle incluse nell'analisi del 2013 sembrano avere caratteristiche simili alle aree del comune di Brescia confinanti con l'area a Sud della Caffaro. Si ricorda che tali aree rappresentano una piccola porzione dei comuni di Castel Mella e Capriano del Colle e che il loro grado di contaminazione ambientale è poco definito. Sarebbe comunque opportuno valutare i livelli di PCB sierici anche nelle restanti parti di tali comuni.

- **I Valori dei PCB sono da valutare tenendo conto del fattore età.** Si è rilevata una forte correlazione dei PCB con l'età, sia nella popolazione generale che in quella "non esposta" al SIN Caffaro: i PCB sierici nelle due decadi di maggiore età (60-79 anni) sono circa 10 volte più elevati rispetto alla decade più giovane (20-29 anni). L'associazione tra età e livelli di PCB sierici è confermata in numerosi studi [11-15]. Un livello di riferimento unico per tutte le età è probabilmente inappropriato e si dovrebbero utilizzare "valori di riferimento" per fasce d'età, come peraltro viene fatto dal CDC negli USA.

Non si sono osservate differenze tra maschi e femmine, né differenze legate a specifiche abitudini alimentari, escluso il consumo di alimenti prodotti nelle aree inquinate. L'unica correlazione significativa era con i livelli di lipidi sierici.

- **Nessuna delle altre possibili esposizioni studiate è risultata associata con livelli di PCB più elevati.** Non si è riscontrata alcuna associazione tra PCB sierici e storia di: esposizione lavorativa, residenza in aree contaminate senza consumo di alimenti prodotti localmente, pratica di sport in aree contaminate.
- **Il profilo dei diversi congeneri è simile nei diversi gruppi e tra le due indagini del 2003 e 2013, ma il congenere 209 è marcatore dei soggetti con elevati livelli di PCB.** Più del 75% del valore totale di PCB sierici è determinato da tre congeneri (PCB-138; PCB-153; PCB-180). Tra i diversi gruppi esaminati il profilo complessivo dei congeneri è sempre molto

simile. L'unica peculiarità si riscontra tra i soggetti con elevati valori di PCB in cui il congenere 209 ha un peso relativo decisamente superiore.

- **I livelli di PCB sierici della popolazione bresciana sono in linea con i valori di riferimento italiani.** Pur essendovi nella popolazione bresciana alcuni soggetti con valori estremi assai elevati la popolazione complessiva compresa tra il 5° e il 95° centile appare del tutto simile ai livelli di riferimento riportati dalla Società Italiana Valori Di Riferimento per le zone fortemente industrializzate. Limitando l'analisi ai soggetti bresciani senza alcuna esposizione al SIN Caffaro (popolazione "non esposta") i livelli sono notevolmente più bassi e simili a quelli riscontrati nelle zone italiane poco industrializzate.

Il confronto con i dati di altri studi italiani ed internazionali conferma la similitudine degli attuali livelli sierici di PCB bresciani rispetto a quanto riscontrato in altre aree del Nord Italia e dei paesi europei ad elevata industrializzazione, mentre sono più elevati rispetto ai livelli di aree del Sud Italia, degli USA e di altri paesi non europei.

- **Vi è stato un dimezzamento, nel comune di Brescia, dei livelli di PCB sierici nel 2013 rispetto al 2003.**

Si è notato un generale dimezzamento dei valori di PCB sierici che vale per tutte le categorie d'età, per le diverse aree di residenza, per coloro che hanno consumato alimenti prodotti localmente nelle diverse aree e coloro che non li hanno consumati. La diminuzione è presente sia per i valori centrali (medie e mediane) che per i valori estremi (75° e 95° percentili e valore massimo). La diminuzione è stata più forte nella popolazione al di sotto dei 60 anni.

Tale fenomeno di riduzione è presente in tutto il mondo ed è confermato da molti studi [11-16]; a Brescia la diminuzione potrebbe essere stata in parte determinata dal fatto che l'esposizione si è verificata soprattutto nei decenni passati, dagli anni '40 agli anni '80, e dalle misure di contenimento messe in atto dopo il 2001.

Nell'interpretazione di tali dati si deve tener presente che la partecipazione è stata più bassa nel 2013 rispetto al 2003: questo potrebbe, teoricamente, aver introdotto un bias di selezione, anche se appare improbabile che tale selezione sia stata diretta verso soggetti con valori diversi di PCB sierici rispetto a chi ha partecipato.

I dati aggiornati di PCB nei terreni e negli alimenti delle zone oggetto di studio di prossima valutazione, saranno necessari per avvalorare e meglio comprendere il pattern di esposizione negli esseri umani.

- **I valori di Tossicità Equivalente da PCB rispecchiano l'andamento dei PCB sierici totali.** Dal confronto tra le due indagini emerge un forte calo nei valori medi, mediani ed estremi di TEQ nel 2013 rispetto al 2003.

In letteratura si è visto come l'utilizzo dei nuovi TEF 2005 dell'OMS per i PCB abbia determinato una riduzione della TEQ da PCB di circa il 25% rispetto all'utilizzo dei TEF del 1998 [14]. Nella presente indagine utilizzo dei TEF OMS del 2005 comporta una riduzione della tossicità equivalente da PCB molto più marcata poiché i congeneri PCB diossina-simili maggiormente riscontrati sono quelli per cui il TEF è stato notevolmente rivisto al ribasso.

Si ricorda che la tossicità equivalente qui determinata è stata calcolata solo in base ai valori dei PCB diossina simili a livello individuale e non di eventuali furani e diossine.

I valori di TEQ da PCB ottenuti tramite dati individuali, inoltre, sono una sottostima rispetto ai valori di TEQ ottenuti tramite pool: in questi ultimi l'analisi cumulativa di siero di numerosi soggetti permette di rilevare anche le piccole quantità di quei congeneri che non sono mai stati riscontrati a livello individuale ma che hanno maggiori fattori di tossicità equivalente singolarmente considerati (ad esempio i congeneri 126 e 169). Per questa ragione le TEQ ottenute tramite dati individuali e pool non sono propriamente confrontabili tra loro.

Per valutare in modo adeguato la TEQ da PCB e da diossine e furani sarebbe quindi opportuno eseguire delle analisi su pool, come già fatto nel 2003 da parte dell'ISS [6] che aveva evidenziato come dal 56% al 75% della tossicità equivalente fosse determinata dai PCB ed il rimanente da PCDD e PCDF.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- 1) ASL della provincia di Brescia. <http://www.aslbrescia.it/bin/index.php?id=2595>
- 2) “Indagine sull’esposizione a PCB nella popolazione generale di Brescia” (13.2) e “Il consumo di alimenti prodotti localmente quale via di contaminazione da PCB nella popolazione generale di Brescia” (13.3). Accessibili sul sito ASL <http://www.aslbrescia.it/bin/index.php?id=1621>
- 3) Apostoli P, Magoni M, Bergonzi R, Carasi S, Indelicato A, Scarcella C, Donato F. Assessment of reference values for polychlorinated biphenyl concentration in human blood. Chemosphere. 2005 Oct;61(3):413-21. Epub 2005 Apr 7
- 4) Donato F, Magoni M, Bergonzi R, Scarcella C, Indelicato A, Carasi S, Apostoli P. Exposure to polychlorinated biphenyls in residents near a chemical factory in Italy: The food chain as main source of contamination. Chemosphere. 2006 Jan 5
- 5) WHO, IPCS The 2005 World Health Organization Re-evaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-like Compounds. http://www.who.int/ipcs/assessment/tef_values.pdf
- 6) Turrio-Baldassarri L et al. PCDD/F and PCB in human serum of differently exposed population groups of an Italian city. Chemosphere. 2008 Aug;73(1 Suppl):S228-34
- 7) S.I.V.R. 2011; TERZA LISTA DEI VALORI DI RIFERIMENTO PER COMPOSTI ORGANICI E LORO METABOLITI. <http://www.valoridiriferimento.it/>
- 8) Mrema EJ, et al. Exposure to priority organochlorine contaminants in the Italian general population. Part 2: Fifteen priority polychlorinated biphenyl congeners in blood serum. Hum Exp Toxicol. 2014 Feb;33(2):170-84.
- 9) Esposito M et al. Serum levels of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, polychlorinated dibenzofurans and polychlorinated biphenyls in a population living in the Naples area, southern Italy. Chemosphere. 2014 Jan;94:62-9.
- 10) Amodio E et al. Serum concentrations of persistent organic pollutants (POPs) in the inhabitants of a Sicilian city. Chemosphere. 2012 Nov;89(8):970-4
- 11) INVS 2011. Exposition de la population française aux substances chimiques de l’environnement. http://www.invs.sante.fr/publications/2011/exposition_polluants_enns/
- 12) Porta M et al. Distribution of blood concentrations of persistent organic pollutants in a representative sample of the population of Barcelona in 2006, and comparison with levels in 2002. Sci Total Environ. 2012 Apr 15;423:151-61
- 13) CDC. Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals, Updated Tables, September 2013. <http://www.cdc.gov/exposurereport>

- 14) Consonni D, Sindaco R, Bertazzi PA. Blood levels of dioxins, furans, dioxin-like PCBs, and TEQs in general populations: a review, 1989-2010. *Environ Int.* 2012 Sep;44:151-62
- 15) Fromme et al. Intake and body burden of dioxin-like compounds in Germany: the INES study. *Chemosphere.* 2009 Sep;76(11):1457-63
- 16) Chovancová J et al. PCDD/PCDF, dl-PCB and PBDE serum levels of Slovak general population. *Chemosphere.* 2012 Sep;88(11):1383-9
- 17) Ferriby et al Evaluation of PCDD/F and dioxin-like PCB serum concentration data from the 2001-2002 National Health and Nutrition Examination Survey of the United States population. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2007 Jul;17(4):358-71
- 18) Hsu et al. Evaluation of background persistent organic pollutant levels in human from Taiwan: polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, and biphenyls. *Environ Int.* 2009 Jan;35(1):33-42.
- 19) Uemura H et al PCDDs/PCDFs and dioxin-like PCBs: recent body burden levels and their determinants among general inhabitants in Japan. *Chemosphere.* 2008 Aug;73(1):30-7.