

**C10 SALUTE PUBBLICA****C10.1 ASSETTO DEMOGRAFICO**

La Provincia di Trapani si estende per circa 2.500 kmq, con una popolazione di circa 436 mila abitanti, pari all'8,65 % dell'intera popolazione siciliana.

<i>Comune</i>	<i>Abitanti Percentuale</i>	<i>popolazione</i>	<i>Superficie Km^q</i>	<i>Densità Abit/Kmq</i>
Alcamo	45915	10,55%	130,79	349,90
Buzeto Palizzolo	3153	0,73%	72,71	43,34
Calatafimi – Segesta	7144	1,67%	154,70	46,73
Campobello di Mazara	10800	2,49%	65,79	164,18
Castellammare del Golfo	15071	3,45%	127,16	117,87
Castelvetrano	30516	7,05%	206,95	148,17
Custonaci	5365	1,21%	69,57	75,71
Erice	28381	6,60%	47,21	603,88
Favignana	4358	1,01%	37,44	117,33
Gibellina	4385	1,02%	44,99	98,31
Marsala	82596	18,53%	241,37	332,69
Mazara del Vallo	51385	11,85%	275,51	186,63
Paceco	11420	2,62%	58,38	194,82
Pantelleria	7736	1,77%	83,02	92,32
Partanna	11247	2,63%	82,34	138,64
Petrosino	7613	1,76%	44,44	171,06
Poggioreale	1602	0,38%	37,51	43,41
Salaparuta	1777	0,41%	41,66	42,44
Salemi	11163	2,59%	181,53	61,92
San Vito Lo Capo	4265	0,97%	59,66	70,31
Santa Ninfa	5178	1,20%	63,79	82,16
Trapani	70547	16,28%	271,67	259,97
Valderice	12086	2,74%	52,77	224,44
Vita	2210	0,52%	8,88	252,03
Totale Provincia	435.913	100%	2.459,84	177,2

Tabella C10.1 - Dati ISTAT: Popolazione residente al 31/12/2008



Gli abitanti sono distribuiti in ventiquattro comuni, con una concentrazione del 71% in corrispondenza dei centri maggiori: Trapani, Marsala, Mazara del Vallo, Alcamo, Castelvetrano ed Erice.

Secondo i dati del Censimento 2001, mentre l'area costiera presenta valori di densità abitativa in aumento rispetto a rilevamenti precedenti, nell'area dell'entroterra il dato è opposto ovvero un calo rispetto a rilevamenti precedenti.

A livello comunale, si riscontra che la densità abitativa più alta risulta essere quella del Comune di Alcamo (349,90ab/Km²), mentre quella più bassa si registra nel territorio comunale di Salaparuta (42,44ab/Km²). Per quanto riguarda invece il dato riferito al Comune di Favignana si riscontra una densità pari a 117,33 ab/Km².

Confrontando i dati relativi alla popolazione residente rilevati grazie agli ultimi tre Censimenti ISTAT della popolazione e delle Abitazioni, si riscontra una generale e continuo aumento della popolazione all'interno della provincia di Trapani, riscontrabile nella maggior parte dei comuni, salvo alcune eccezioni.

Il diagramma seguente riporta i dati relativi alla popolazione residente nei vari comuni della provincia registrati nei vari Censimenti ISTAT.



Popolazione residente ai censimenti (2011 - dati provvisori)

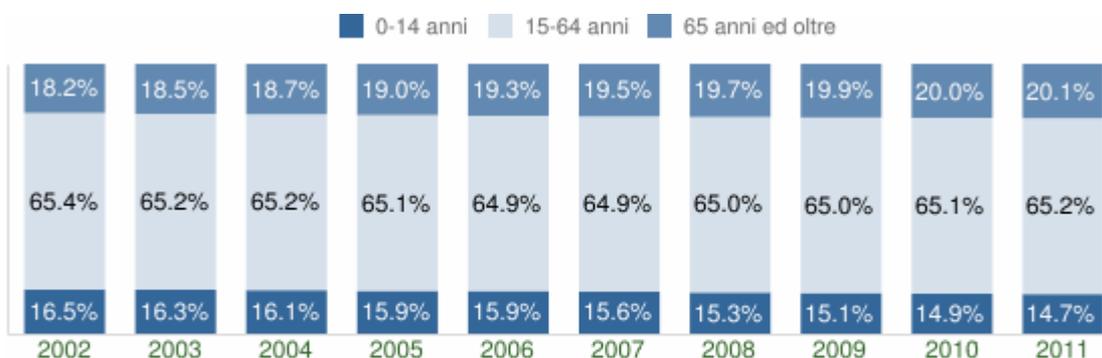
PROVINCIA DI TRAPANI - Dati ISTAT - Elaborazione TUTTITALIA.IT



Si riporta altresì la variazione percentuale della popolazione ai censimenti dal 1861 al 2011 espresse in percentuale a confronto con le variazioni della Regione Sicilia e dell'Italia.



Si riporta inoltre l'analisi della struttura per età della popolazione della Provincia di Trapani, popolazione considera tre fasce di età: **giovani** 0-14 anni, **adulti** 15-64 anni e **anziani** 65 anni ed oltre. In base alle diverse proporzioni fra tali fasce di età, la struttura di una popolazione viene definita di tipo *progressiva*, *stazionaria* o *regressiva* a seconda che la popolazione giovane sia maggiore, equivalente o minore di quella anziana. Lo studio di tali rapporti è importante per valutare alcuni impatti sul sistema sociale, ad esempio sul sistema lavorativo o su quello sanitario.



Struttura per età della popolazione

PROVINCIA DI TRAPANI - Dati ISTAT al 1° gennaio - Elaborazione TUTTITALIA.IT



COMUNE DI FAVIGNANA

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE - QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE

Anno	<i>0-14 anni</i>	<i>15-64 anni</i>	<i>65+ anni</i>	<i>Totale residenti</i>	Età media
2002	69.942	277.893	77.232	425.067	40,0
2003	69.584	277.369	78.739	425.692	40,3
2004	69.196	279.523	80.028	428.747	40,5
2005	68.983	281.823	82.157	432.963	40,7
2006	68.908	281.725	83.802	434.435	40,9
2007	67.817	282.321	84.600	434.738	41,2
2008	66.733	283.457	85.784	435.974	41,5
2009	65.900	283.362	86.651	435.913	41,7
2010	64.982	284.050	87.251	436.283	41,9
2011	64.045	284.659	87.920	436.624	42,2



COMUNE DI FAVIGNANA

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE - QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE

Indicatori demografici

Principali indici demografici calcolati sulla popolazione residente in provincia di Trapani.

Anno	Indice di vecchiaia	Indice di dipendenza strutturale	Indice di ricambio della popolazione attiva	Indice di struttura della popolazione attiva	Indice di carico di figli per donna feconda	Indice di natalità	Indice di mortalità
2002	110,4	53,0	92,0	86,9	25,5	-	-
2003	113,2	53,5	94,3	88,3	24,8	10,1	9,6
2004	115,7	53,4	94,1	89,3	24,6	9,9	10,3
2005	119,1	53,6	91,5	90,9	24,5	9,9	9,4
2006	121,6	54,2	88,4	92,3	24,7	9,4	9,7
2007	124,7	54,0	91,5	94,9	24,9	9,2	9,4
2008	128,5	53,8	93,2	97,2	25,2	9,0	10,1
2009	131,5	53,8	97,0	99,4	25,1	8,9	10,0
2010	134,3	53,6	101,4	102,2	25,0	8,9	10,4
2011	137,3	53,4	105,6	104,8	24,8	8,5	10,0



COMUNE DI FAVIGNANA

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE - QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE

A completamento di questo quadro introduttivo si indicano nella tabella seguente i dati relativi alle variazioni della popolazione nei singoli censimenti.

Dati popolazione ai censimenti dal 1861 al 2011

Censimento			Popolazione residenti	Var %
num.	anno	data rilevamento		
1°	1861	31 dicembre 1861	213.211	-
2°	1871	31 dicembre 1871	233.482	+9,5%
3°	1881	31 dicembre 1881	279.889	+19,9%
4°	1901	10 febbraio 1901	367.974	+31,5%
5°	1911	10 giugno 1911	364.813	-0,9%
6°	1921	1 dicembre 1921	423.370	+16,1%
7°	1931	21 aprile 1931	370.501	-12,5%
8°	1936	21 aprile 1936	369.073	-0,4%
9°	1951	4 novembre 1951	414.881	+12,4%
10°	1961	15 ottobre 1961	427.672	+3,1%
11°	1971	24 ottobre 1971	405.393	-5,2%
12°	1981	25 ottobre 1981	420.865	+3,8%
13°	1991	20 ottobre 1991	426.710	+1,4%
14°	2001	21 ottobre 2001	425.121	-0,4%
15°	2011	9 ottobre 2011	430.843 (*)	+1,3%

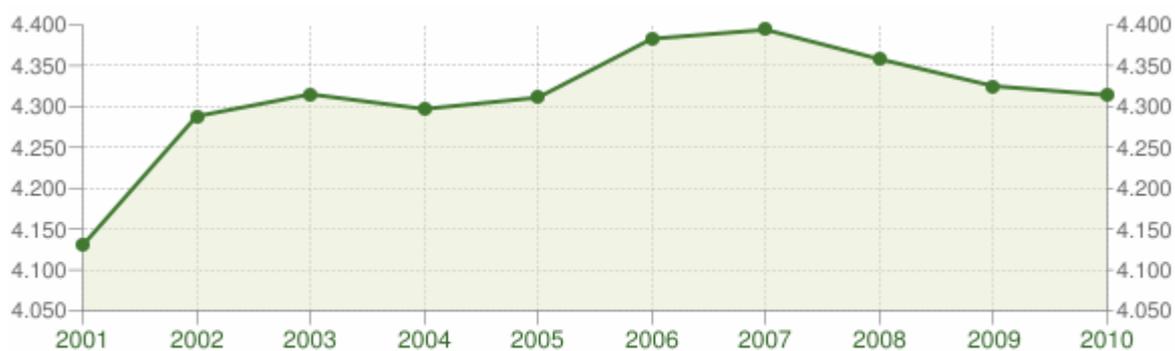


Favignana

Un esame dei dati sull'andamento demografico evidenzia quanto segue: tra il 1981 e il 2001 il decremento è stato del -8,00%, del -4,6 % nel periodo 1991/01 (Dati censimento), mentre tale valore ha subito un incremento del 1,61% nel periodo 2002-2008 (Rielaborazione dati demografici tratti da ISTAT).

Per maggiore3 chiarimento si riportano una serie di grafici e tabelle esplicative di quanto sinteticamente indicato in precedenza.

Andamento demografico della popolazione residente nel comune di Favignana dal 2001 al 2010



Andamento della popolazione residente

COMUNE DI FAVIGNANA (TP) - Dati ISTAT al 31 dicembre - Elaborazione TUTTITALIA.IT



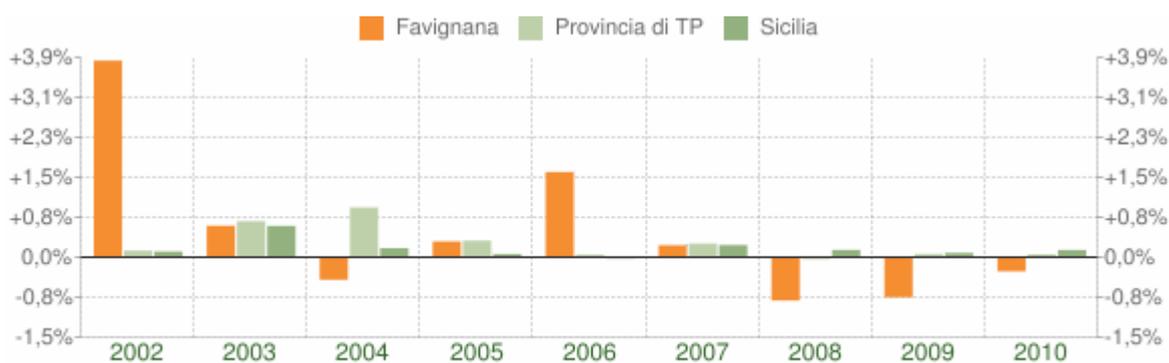
COMUNE DI FAVIGNANA

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE - QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE

Anno	Popolazione residente	Variazione assoluta	Variazione percentuale
2001	4.130	-	-
2002	4.288	+158	+3,83%
2003	4.315	+27	+0,63%
2004	4.297	-18	-0,42%
2005	4.311	+14	+0,33%
2006	4.383	+72	+1,67%
2007	4.394	+11	+0,25%
2008	4.358	-36	-0,82%
2009	4.325	-33	-0,76%
2010	4.314	-11	-0,25%

Variazione in percentuale della popolazione di Favignana espressa in percentuale a confronto con le variazioni della popolazione della Provincia di Trapani e della Regione Sicilia.

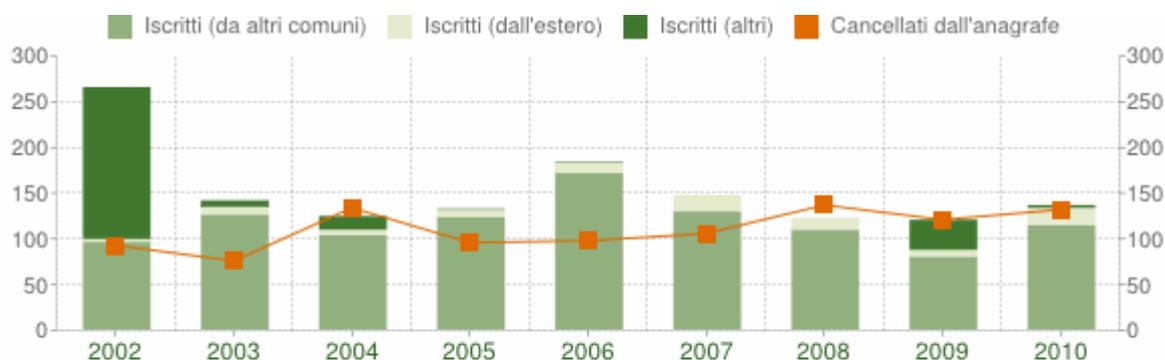


Variazione percentuale della popolazione

COMUNE DI FAVIGNANA (TP) - Dati ISTAT al 31 dicembre - Elaborazione TUTTITALIA.IT



Il grafico in basso visualizza il numero dei trasferimenti di residenza da e verso il comune di Favignana negli ultimi anni. I trasferimenti di residenza sono riportati come iscritti e cancellati dall'Anagrafe del comune. Fra gli iscritti, sono evidenziati con colore diverso i trasferimenti di residenza da altri comuni, quelli dall'estero e quelli dovuti per altri motivi (ad esempio per rettifiche amministrative).



Flusso migratorio della popolazione

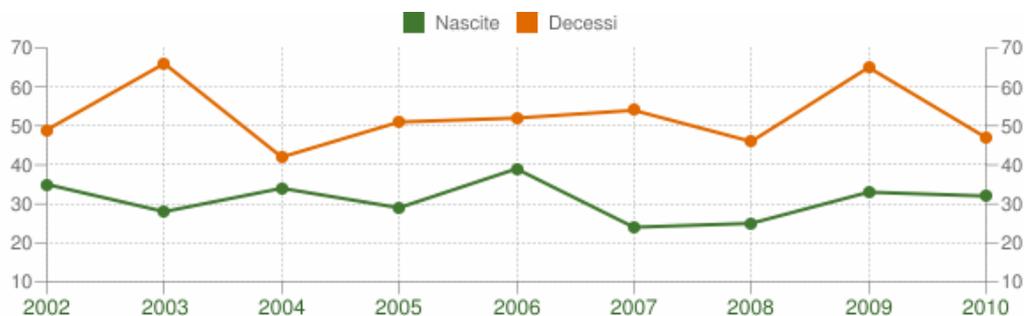
COMUNE DI FAVIGNANA (TP) - Dati ISTAT al 31 dicembre - Elaborazione TUTTITALIA.IT



La tabella seguente riporta il dettaglio del comportamento migratorio dal 2002 al 2010.

Anno	Iscritti			Cancellati			Saldo Migratorio con l'estero	Saldo Migratorio totale
	DA altri comuni	DA estero	per altri motivi	PER altri comuni	PER estero	per altri motivi		
2002	96	3	166	70	3	20	0	+172
2003	126	8	7	73	2	1	+6	+65
2004	103	6	15	125	9	0	-3	-10
2005	123	8	1	95	1	0	+7	+36
2006	171	11	1	98	0	0	+11	+85
2007	129	18	0	101	5	0	+13	+41
2008	109	13	0	136	1	0	+12	-15
2009	80	7	33	117	4	0	+3	-1
2010	114	19	3	120	12	0	+7	+4

Il movimento naturale di una popolazione in un anno è determinato dalla differenza fra le nascite ed i decessi ed è detto anche **saldo naturale**. Le due linee del grafico in basso riportano l'andamento delle nascite e dei decessi negli ultimi anni. L'andamento del saldo naturale è visualizzato dall'area compresa fra le due linee.



Movimento naturale della popolazione

COMUNE DI FAVIGNANA (TP) - Dati ISTAT al 31 dicembre - Elaborazione TUTTITALIA.IT



COMUNE DI FAVIGNANA

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE - QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE

<i>Anno</i>	<i>Nascite</i>	<i>Decessi</i>	<i>Saldo Naturale</i>
<i>2002</i>	<i>35</i>	<i>49</i>	<i>-14</i>
<i>2003</i>	<i>28</i>	<i>66</i>	<i>-38</i>
<i>2004</i>	<i>34</i>	<i>42</i>	<i>-8</i>
<i>2005</i>	<i>29</i>	<i>51</i>	<i>-22</i>
<i>2006</i>	<i>39</i>	<i>52</i>	<i>-13</i>
<i>2007</i>	<i>24</i>	<i>54</i>	<i>-30</i>
<i>2008</i>	<i>25</i>	<i>46</i>	<i>-21</i>
<i>2009</i>	<i>33</i>	<i>65</i>	<i>-32</i>
<i>2010</i>	<i>32</i>	<i>47</i>	<i>-15</i>

Il grafico in basso, detto **piramide delle età**, rappresenta la distribuzione della popolazione residente a Favignana per età, sesso e stato civile al 1° gennaio 2011. La popolazione è riportata per **classi quinquennali** di età sull'asse Y, mentre sull'asse X sono riportati due grafici a barre a specchio con i maschi (a sinistra) e le femmine (a destra).

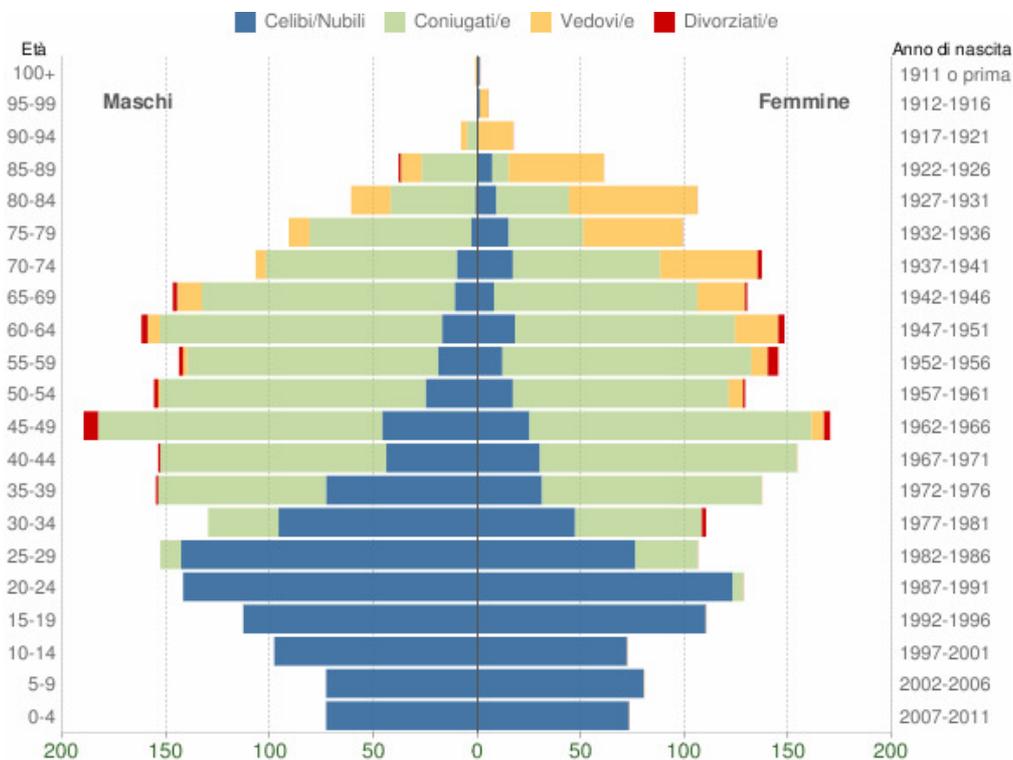
I diversi colori evidenziano la distribuzione della popolazione per stato civile: celibi e nubili, coniugati, vedovi e divorziati.



COMUNE DI FAVIGNANA

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE - QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE



Popolazione per età, sesso e stato civile - 2011

COMUNE DI FAVIGNANA (TP) - Dati ISTAT al 1° gennaio - Elaborazione TUTTITALIA.IT



COMUNE DI FAVIGNANA

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE - QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE

Distribuzione della popolazione 2011 – Favignana

Età	Celibi /Nubili	Coniugati /e	Vedovi /e	Divorziati /e	Maschi		Femmine		Totale	
						%		%		%
0-4	146	0	0	0	73	50,0%	73	50,0%	146	3,4%
5-9	153	0	0	0	73	47,7%	80	52,3%	153	3,5%
10-14	170	0	0	0	98	57,6%	72	42,4%	170	3,9%
15-19	223	0	0	0	113	50,7%	110	49,3%	223	5,2%
20-24	265	5	0	0	142	52,6%	128	47,4%	270	6,3%
25-29	219	40	0	0	153	59,1%	106	40,9%	259	6,0%
30-34	143	95	0	2	130	54,2%	110	45,8%	240	5,6%
35-39	104	187	0	1	155	53,1%	137	46,9%	292	6,8%
40-44	74	233	0	1	154	50,0%	154	50,0%	308	7,1%
45-49	71	273	6	10	190	52,8%	170	47,2%	360	8,3%
50-54	42	232	8	3	156	54,7%	129	45,3%	285	6,6%
55-59	31	241	10	7	144	49,8%	145	50,2%	289	6,7%
60-64	35	242	27	6	162	52,3%	148	47,7%	310	7,2%
65-69	19	220	35	3	147	53,1%	130	46,9%	277	6,4%
70-74	27	163	52	2	107	43,9%	137	56,1%	244	5,7%
75-79	18	114	58	0	91	47,9%	99	52,1%	190	4,4%
80-84	10	76	81	0	61	36,5%	106	63,5%	167	3,9%
85-89	7	35	56	1	38	38,4%	61	61,6%	99	2,3%
90-94	0	5	20	0	8	32,0%	17	68,0%	25	0,6%
95-99	1	0	4	0	0	0,0%	5	100,0%	5	0,1%



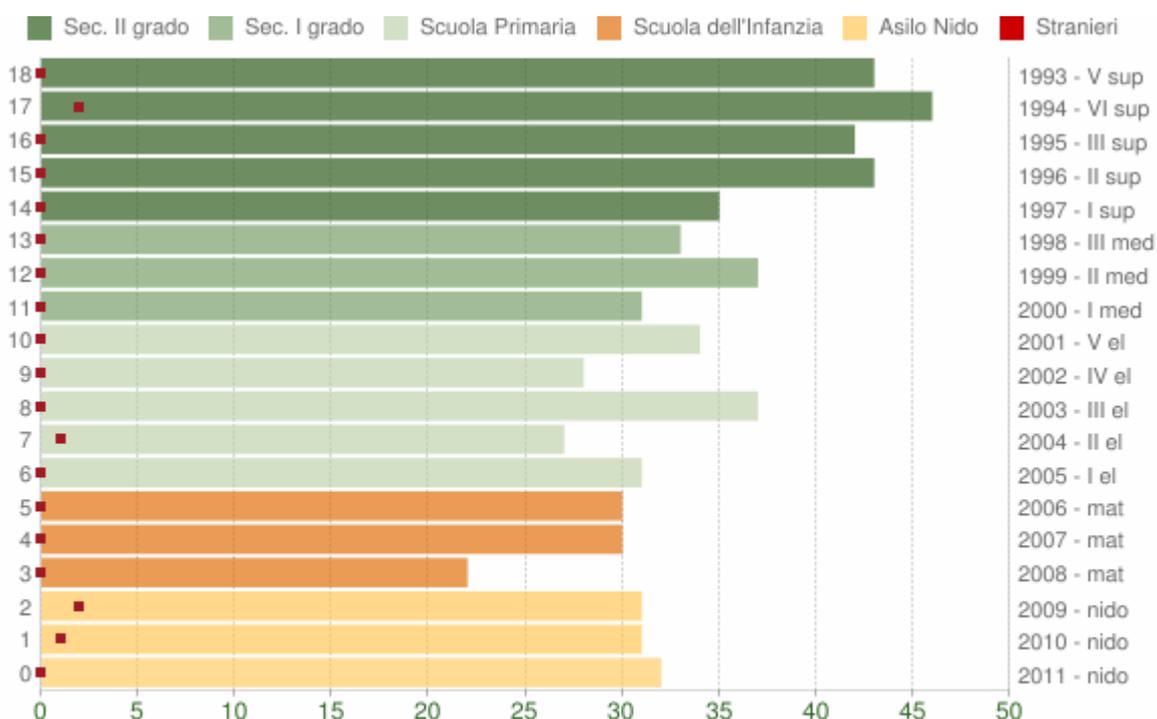
COMUNE DI FAVIGNANA

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE - QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE

100+	1	0	1	0	1	50,0%	1	50,0%	2	0,0%
Totale	1.759	2.161	358	36	2.196	50,9%	2.118	49,1%	4.314	

Il grafico di seguito riportato è la codificazione della popolazione di **Favignana** per classi di età da 0 a 18 anni al 1° gennaio 2011. Il grafico in basso riporta la potenziale utenza per le scuole di Favignana, evidenziando con colori diversi i differenti cicli scolastici (asilo nido, scuola dell'infanzia, scuola primaria, scuola secondaria di I e II grado) e gli individui con cittadinanza straniera.



Popolazione per età scolastica - 2011

COMUNE DI FAVIGNANA (TP) - Dati ISTAT al 1° gennaio - Elaborazione TUTTITALIA.IT



COMUNE DI FAVIGNANA

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE - QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE

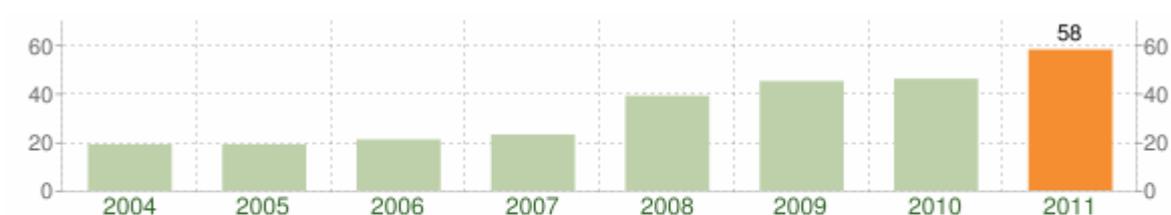
Distribuzione della popolazione per età scolastica 2011

Età	Totale Maschi	Totale Femmine	Totale Maschi+Femmine	di cui stranieri			
				Maschi	Femmine	M+F	%
0	15	17	32	0	0	0	0,0%
1	18	13	31	0	1	1	3,2%
2	15	16	31	1	1	2	6,5%
3	10	12	22	0	0	0	0,0%
4	15	15	30	0	0	0	0,0%
5	12	18	30	0	0	0	0,0%
6	14	17	31	0	0	0	0,0%
7	14	13	27	0	1	1	3,7%
8	16	21	37	0	0	0	0,0%
9	17	11	28	0	0	0	0,0%
10	18	16	34	0	0	0	0,0%
11	18	13	31	0	0	0	0,0%
12	21	16	37	0	0	0	0,0%
13	21	12	33	0	0	0	0,0%
14	20	15	35	0	0	0	0,0%
15	18	25	43	0	0	0	0,0%
16	24	18	42	0	0	0	0,0%
17	25	21	46	2	0	2	4,3%
18	22	21	43	0	0	0	0,0%



Popolazione straniera residente a **Favignana** al 1° gennaio 2011.

Sono considerati cittadini stranieri le persone di cittadinanza non italiana aventi dimora abituale in Italia.



Andamento della popolazione con cittadinanza straniera - 2011

COMUNE DI FAVIGNANA (TP) - Dati ISTAT al 1° gennaio - Elaborazione TUTTITALIA.IT

Distribuzione per area geografica di cittadinanza

Gli stranieri residenti a Favignana al 1° gennaio 2011 sono **58** e rappresentano il 1,3% della popolazione residente.



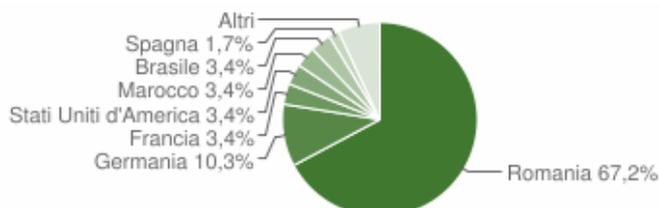
La comunità straniera più numerosa è quella proveniente dalla **Romania** con il 67,2% di tutti gli stranieri presenti sul territorio.



COMUNE DI FAVIGNANA

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE - QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE



Segue il dettaglio dei paesi di provenienza dei cittadini stranieri residenti divisi per continente di appartenenza ed ordinato per numero di residenti.

EUROPA	Area	Maschi	Femmine	Totale	%
Romania	Unione Europea	15	24	39	67,24%
Germania	Unione Europea	0	6	6	10,34%
Francia	Unione Europea	0	2	2	3,45%
Spagna	Unione Europea	0	1	1	1,72%
Polonia	Unione Europea	0	1	1	1,72%
Bielorussia	Europa centro orientale	0	1	1	1,72%
Totale Europa		15	35	50	86,21%

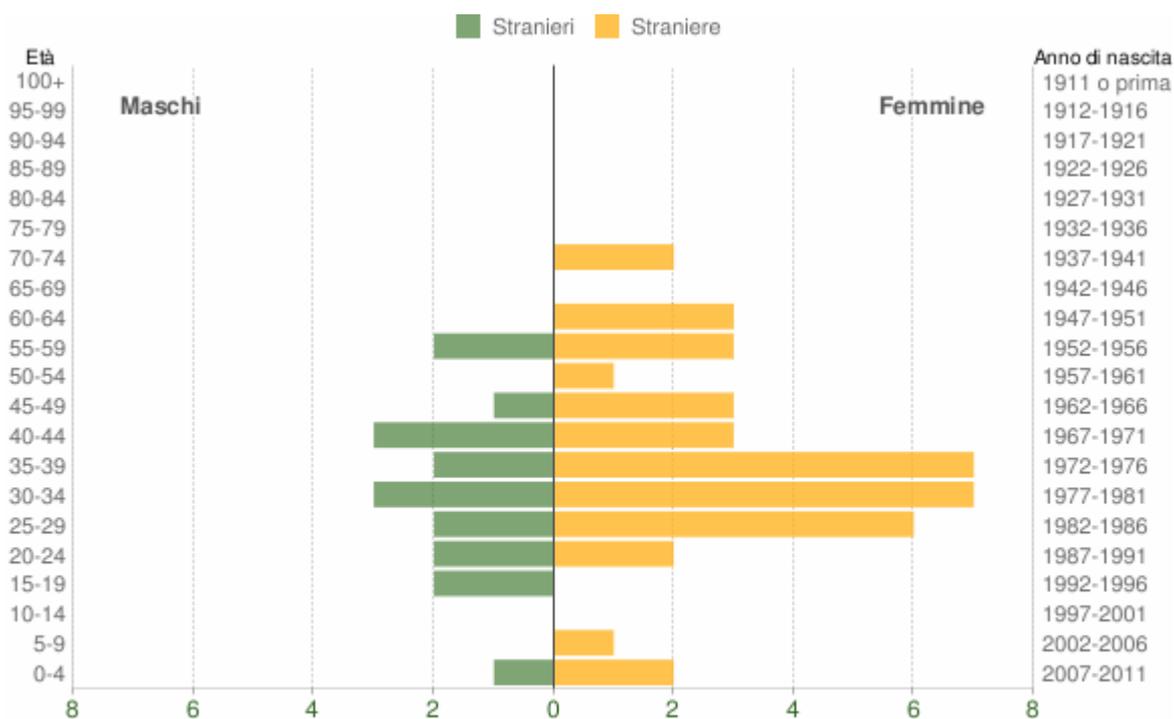
AMERICA	Area	Maschi	Femmine	Totale	%
Stati Uniti d'America	America settentrionale	0	2	2	3,45%
Brasile	America centro meridionale	1	1	2	3,45%
Dominica	America centro meridionale	0	1	1	1,72%
Totale America		1	4	5	8,62%

AFRICA	Area	Maschi	Femmine	Totale	%
Marocco	Africa settentrionale	1	1	2	3,45%
Tunisia	Africa settentrionale	1	0	1	1,72%
Totale Africa		2	1	3	5,17%



Distribuzione della popolazione straniera per età e sesso.

In basso è riportata la **piramide delle età** con la distribuzione della popolazione straniera residente a Favignana per età e sesso al 1° gennaio 2011 su dati ISTAT.



Popolazione per cittadinanza straniera per età e sesso - 2011

COMUNE DI FAVIGNANA (TP) - Dati ISTAT al 1° gennaio - Elaborazione TUTTITALIA.IT

Età	Stranieri			%
	Maschi	Femmine	Totale	
0-4	1	2	3	5,2%
5-9	0	1	1	1,7%
10-14	0	0	0	0,0%
15-19	2	0	2	3,4%
20-24	2	2	4	6,9%
25-29	2	6	8	13,8%
30-34	3	7	10	17,2%



COMUNE DI FAVIGNANA

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE - QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE

35-39	2	7	9	15,5%
40-44	3	3	6	10,3%
45-49	1	3	4	6,9%
50-54	0	1	1	1,7%
55-59	2	3	5	8,6%
60-64	0	3	3	5,2%
65-69	0	0	0	0,0%
70-74	0	2	2	3,4%
75-79	0	0	0	0,0%
80-84	0	0	0	0,0%
85-89	0	0	0	0,0%
90-94	0	0	0	0,0%
95-99	0	0	0	0,0%
100+	0	0	0	0,0%
Totale	18	40	58	100%

Struttura della popolazione dal 2002 al 2011

L'analisi della struttura per età di una popolazione considera tre fasce di età: **giovani** 0-14 anni, **adulti** 15-64 anni e **anziani** 65 anni ed oltre.

In base alle diverse proporzioni fra tali fasce di età, la struttura di una popolazione viene definita di tipo *progressiva*, *stazionaria* o *regressiva* a seconda che la popolazione giovane sia maggiore, equivalente o minore di quella anziana.

Lo studio di tali rapporti è importante per valutare alcuni impatti sul sistema sociale, ad esempio sul sistema lavorativo o su quello sanitario.



COMUNE DI FAVIGNANA

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE - QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE



Struttura per età della popolazione

COMUNE DI FAVIGNANA (TP) - Dati ISTAT al 1° gennaio - Elaborazione TUTTITALIA.IT

Anno	0-14 anni	15-64 anni	65+ anni	Totale residenti	Età media
2002	577	2.657	896	4.130	42,9
2003	598	2.754	936	4.288	43,0
2004	582	2.806	927	4.315	43,1
2005	558	2.787	952	4.297	43,5
2006	552	2.791	968	4.311	43,8
2007	542	2.846	995	4.383	44,0
2008	526	2.858	1.010	4.394	44,3
2009	494	2.847	1.017	4.358	44,8
2010	475	2.835	1.015	4.325	45,1
2011	469	2.836	1.009	4.314	45,2



COMUNE DI FAVIGNANA

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE - QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE

Indicatori demografici

Principali indici demografici calcolati sulla popolazione residente a Favignana.

Anno	Indice di vecchiaia	Indice di dipendenza strutturale	Indice di ricambio della popolazione attiva	Indice di struttura della popolazione attiva	Indice di carico di figli per donna feconda	Indice di natalità	Indice di mortalità
2002	155,3	55,4	116,5	98,6	26,4	-	-
2003	156,5	55,7	123,5	99,4	25,4	8,2	11,4
2004	159,3	53,8	120,3	101,1	26,3	6,5	15,3
2005	170,6	54,2	111,4	102,8	26,3	7,9	9,8
2006	175,4	54,5	114,1	106,9	26,3	6,7	11,8
2007	183,6	54,0	116,0	109,9	25,7	8,9	11,9
2008	192,0	53,7	123,0	112,5	25,6	5,5	12,3
2009	205,9	53,1	137,5	114,5	24,4	5,7	10,6
2010	213,7	52,6	137,5	117,6	24,5	7,6	15,0
2011	215,1	52,1	139,0	120,9	24,4	7,4	10,9



C10.2 FATTORI DI RISCHIO E GLI EFFETTI SULLA SALUTE

C10.2.1. L'INQUINAMENTO CHIMICO DELL'ARIA: GENESI, EPIDEMIOLOGIA, TOSSICOLOGIA

Il monossido di carbonio (CO)

Genesi motoristica

Il monossido di carbonio si forma essenzialmente per incompleta ossidazione del carbonio contenuto nel combustibile: il contenuto riscontrato nei fumi è però generalmente superiore a quello calcolabile in base a considerazioni di equilibrio stechiometrico alla temperatura alla temperatura e alla pressione presenti nella camera di combustione. La spiegazione risiede nel fatto che nella parte terminale della combustione, quando lo stantuffo ha già iniziato la sua discesa nella camera, si realizzano via via temperature più basse tali da non consentire il completamento della reazione di rimozione del CO nella misura prevista dall'equilibrio chimico teorico.

Per quanto riguarda i motori ad accensione per compressione, il campo delle dosature normalmente utilizzate è nettamente spostato verso il povero. Una dosatura troppo alta darebbe infatti origine a fenomeni di combustione incompleta di entità insostenibile, con un conseguente crollo del rendimento. Da quanto detto risulta chiaro che l'emissione di CO nei motori diesel è molto minore di quella dei corrispondenti motori a benzina.

Tossicologia

L'azione tossica del CO è prodotta da un fenomeno di anossia originato dall'elevata stabilità del legame biochimico che si instaura tra CO ed emoglobina. Nell'ambito delle valutazioni tossicologiche che tendono a quantificare la responsabilità dell'inquinamento ambientale da CO è necessario osservare che sussistono notevoli interferenze connesse principalmente all'esposizione attiva e passiva al fumo da tabacco.



Epidemiologia

I risultati più interessanti derivanti da indagini condotte in ambienti di lavoro sono riassunte nel seguito.

1. L'azione primaria dell'Ossido di Carbonio risiede nell'interferenza con il trasporto dell'ossigeno sia al sistema nervoso centrale sia ai vari organi del corpo. Gli effetti iniziali si possono distinguere in cambiamenti nel comportamento e nell'attività lavorativa.

Tra i primi si collocano la riduzione dell'attenzione, la manifestazione di disturbi nei processi percettivi e conoscitivi, l'aumento dei tempi di reazione, alcune modificazioni delle attività cardiaca e respiratoria, varie interferenze con il metabolismo dei carboidrati e con la sintesi degli amminoacidi e del colesterolo. Questi effetti si manifestano per concentrazioni di carbossiemoglobina variabili tra il 2.5% e il 6%. Nel campo delle modificazioni dell'attività lavorativa, vengono riportate diminuzioni nei tempi di lavoro per concentrazioni di carbossiemoglobina variabili nel "range" precedentemente definito.

2. Esistono persone particolarmente sensibili agli aumenti di carbossiemoglobina, quali ad esempio i pazienti con malattie cardiovascolari. Per questi soggetti concentrazioni di COHb attorno al 3% provocano già un aggravamento delle loro condizioni di salute. In sintesi viene in genere accettato che gli individui dovrebbero essere protetti contro esposizioni all'ossido di carbonio capaci di produrre livelli di COHb oltre il 4%. Le concentrazioni di CO ambientale e i tempi di esposizione che consentono il raggiungimento di questa situazione sono così indicati dalla O.M.S. (Organizzazione Mondiale della Sanità):

- 24 ore: 29 mg/m³ (25ppm)

- 8 ore: 35 mg/m³ (30ppm)

- 1 ora: 117 mg/m³ (100ppm)

Gli effetti di una esposizione cronica portano senz'altro a fenomeni di morbosità, anossia e mortalità per insorgenza o aggravamento di bronchite cronica, asma, enfisema polmonare, dermatiti.



Non è stata viceversa ancora dimostrata un'associazione statisticamente significativa tra esposizione cronica all'inquinamento atmosferico e cancro polmonare. Gli esperti dell'OMS hanno suggerito valori guida di 9 ppm per periodo di esposizione di 8 ore e valori di 38 ppm per periodi di esposizione di 1 ora. Questi valori sono stati recepiti dalla legislazione nazionale italiana in materia di qualità dell'aria.

Gli ossidi di azoto (NO_x)

Genesi motoristica

Le modalità di formazione degli ossidi di azoto nei motori a combustione interna sono assimilabili a quelle per le combustioni in generale: le concentrazioni sono quindi tanto più alte quanto maggiori sono le temperature raggiunte dal motore. Nei motori ad accensione comandata gli ossidi di azoto si possono formare nel fronte di fiamma e nel così detto gas post-fiamma, cioè nella massa di gas che ha bruciato e che viene nuovamente compressa per effetto della combustione delle masse successive, che avviene pressoché a volume costante. Anche in questo caso, come per il CO, si rileva che la concentrazione di NO_x presenta allo scarico è molto maggiore di quella di equilibrio, a causa del parziale congelamento delle reazioni che dovrebbero presiedere alla dissociazione degli ossidi di azoto all'abbassarsi della temperatura. Nei motori Diesel ad iniezione indiretta la formazione di una regione molto ricca di combustibile all'interno della precamera consente di ottenere concentrazioni molto basse di NO_x allo scarico, pari a circa la metà di quelle riscontrabili in un corrispondente motore ad accensione comandata sprovvisto di catalizzatore.

Tossicologia

Il monossido di azoto (NO) è da ritenersi a tossicità estremamente bassa mentre il biossido di azoto (NO₂) (che dal primo può derivare a seguito di reazioni chimiche che si verificano nell'atmosfera) presenta problemi di maggior rilevanza per l'Igienista essendo 4/5 volte più tossico del primo.

La concentrazione di fondo in NO₂ è stimata in $2 \times 10^{-4} \div 5 \times 10^{-3}$ ppm e quella di NO in $0 \div 6 \times 10^{-3}$ ppm. Nelle grandi città si arriva facilmente a medie giornaliere di 0.07÷0.21 ppm.



Le informazioni sugli effetti biologici degli ossidi di azoto e in particolare dell' NO₂, provengono soprattutto da ricerche sperimentali condotte su animali e su volontari, ricorrendo a dosi indubbiamente elevate e a tempi di esposizione brevi.

Permesso che gli effetti riscontrati sono associati a concentrazioni di gran lunga superiori a quelli presenti nell'ambiente esterno, l'apparato respiratorio è quello più colpito.

L'NO₂ è un irritante polmonare, disturba la ventilazione, inibisce la funzione polmonare, incrementa la resistenza delle vie aeree, indebolisce la difesa contro i batteri, danneggia il sistema macrofagico, diminuisce l'attività fagocitaria, provoca edema polmonare, inattiva il sistema enzimatico cellulare, denatura le proteine e provoca per ossidazioni dei lipidi. Gli ossidi di azoto possono inoltre essere adsorbiti sulla frazione inalabile del particolato.

Queste particelle hanno la possibilità di raggiungere attraverso la trachea e i bronchi gli alveoli polmonari (dove avvengono gli scambi di ossigeno e biossido di carbonio tra apparato respiratorio e sangue) provocando gravi forme di irritazione e, soprattutto nelle persone deboli, notevoli difficoltà di respirazione anche per lunghi periodi di tempo. L'NO₂ attraverso il processo respiratorio alveolare, si combina con l'emoglobina esercitando un'azione di ossidazione sul ferro dell'anello prostetico.

Questa reazione comporta una modificazione delle proprietà chimiche e fisiologiche dell'emoglobina dando luogo a formazione di metaemoglobina. Questa ultima molecola non è più in grado di trasportare ossigeno (ruolo che è proprio dell'emoglobina): già a valori intorno al 3-4% di metaemoglobina si manifesta disturbo a carico della respirazione.

L'NO₂ a contatto con i liquidi gastrici comporta necessariamente la formazione di acido nitroso che è il precursore della formazione delle nitrosammine, ben note per l'azione cancerogena a loro associata. L'unico lavoro sperimentale sull'uomo di cui si è a conoscenza è quello effettuato da M.Abe.



Il ricercatore espose 5 volontari a 5ppm di NO₂ per 10 minuti: dopo 30 minuti dalla fine dell'esposizione vi fu un chiaro aumento nella resistenza nelle vie aeree che risultò però temporanea.

Nei casi di esposizione per breve tempo all'inalazione accidentale di elevate quantità di NO₂ (è il caso di minatori o di lavoratori dell'industria chimica) è interessante ricordare la reazione bifasica di Milne: tosse, dispnea e senso di soffocamento immediato o quasi, cui segue un periodo di recupero di una quindicina di giorni al termine del quale si ha la ricomparsa della sintomatologia dispnoica accompagnata da febbre causata dall'insorgenza di una bronchiolite fibrosa obliterante la cui prognosi non è sempre favorevole.

Occorre però sottolineare che eventi del genere si verificano per esposizioni a 200÷400 ppm di NO₂.

Epidemiologia

Il biossido di azoto è capace di determinare reazioni di grado diverso a seconda della concentrazione dell'inquinante e della durata dell'esposizione:

1. studi di tipo epidemiologico dimostrano una certa associazione tra livelli di NO₂ compresi tra 0.02-0.19 ppm e decremento di funzionalità respiratoria, associazione non legata solo al NO₂, ma anche ad altre sostanze quali anidride solforosa, materiale particolato ed ozono.

2. Esposizioni di 10 minuti a livelli di NO₂ compresi tra 0.7 ppm e 2.0 ppm hanno come conseguenza un incremento nella resistenza del flusso respiratorio.

3. L'odore dell'NO₂ è caratteristico ed apprezzabile a concentrazioni inferiori a 5ppm. Studi effettuati in atmosfere controllate hanno permesso di localizzare intorno a 0.11ppm la soglia di odorabilità.

4. A concentrazioni di 10-20 ppm il gas esercita un'azione irritante sugli occhi, naso e sulle vie respiratorie.



5. Numerosi sono gli effetti relativi all'esposizione industriale a ossidi di azoto, che vanno dalle leggere infiammazioni della mucosa del tratto tracheobronchiale, alle bronchioliti, alle bronchiopolmoniti, agli edemi polmonari acuti. Eventi questi che iniziano a comparire per concentrazioni prossime ai 25ppm. La soglia indicata dall' O.M.S., considerando anche l'eventuale contemporanea presenza di altri inquinanti, è stabilita in $0.10 \div 0.17$ ppm per un'ora da non superare più di una volta al mese. Nessuna indicazione viene data per quanto riguarda la soglia da non superare per esposizioni a lungo termine.

I Composti Organici Volatili (COV)

Genesi motoristica

Sono composti organici formati da legami tra atomi di carbonio ed atomi di idrogeno. In base alle caratteristiche della loro molecola si possono suddividere in :

- idrocarburi alifatici, a loro volta suddivisi in composti a catena lineare e composti aliciclici, cioè contenenti una struttura ad anello diversa da quella benzenica

- idrocarburi aromatici, cioè idrocarburi formati da sei atomi di carbonio collegati tra loro ad anello esagonale (anello benzenico). Tra gli idrocarburi aromatici si distinguono ad un solo anello e quelli costituiti di più anelli aromatici definiti, questi ultimi, idrocarburi policiclici aromatici.

Nei motori ad accensione comandata la formazione di incombusti è essenzialmente dovuta allo spegnimento della fiamma in prossimità delle pareti del cilindro che risultano relativamente più fredde di ogni altra zona della camera di combustione.

La diversificazione dei prodotti incombusti riscontrabili nei gas di scarico è principalmente funzione della temperatura della zona nella quale avviene l'ossidazione parziale o, eventualmente, dello spegnimento della fiamma.

Gli incombusti presentano un minimo per miscele povere, aventi cioè aria in eccesso rispetto alla quantità stechiometrica.



Nel caso di miscele ricche si ha carenza di ossigeno con conseguente impossibilità di avere combustione completa: si hanno perciò reazioni di pirolisi con rottura delle molecole degli idrocarburi originari (cracking) e formazione di metano ed idrogeno.

Per quanto riguarda le miscele eccessivamente povere, l'incompleta combustione è dovuta alla forte difficoltà di accensione della miscela o alla lentezza di propagazione della fiamma. Il meccanismo di formazione degli incombusti nei motori Diesel è ancora in parte ignoto: uno dei risultati sperimentali più importanti è che qualsiasi parametro che tenda a ridurre il ritardo di accensione comporta anche una diminuzione degli idrocarburi incombusti.

Tossicologia

I principali effetti sulla salute solitamente ascritti agli idrocarburi quali responsabili diretti derivano dalla reazione nell'atmosfera con altre sostanze quali gli ossidi di azoto. Il prodotto di tale reazione è rappresentato dagli inquinanti fotochimica.

Gli idrocarburi alifatici ed aliciclici sono generalmente inerti biochimicamente ma non biologicamente; sono invece attivi sia biochimicamente che biologicamente gli idrocarburi aromatici, i vapori dei quali, a parità di concentrazione con gli alifatici, sono più irritanti per le mucose.

Dati sperimentali derivanti da ricerche condotte su uomini ed animali hanno indicato che gli idrocarburi alifatici ed aliciclici producono effetti indesiderati solo in concentrazione centinaia o migliaia di volte superiori a quelle normalmente presenti in atmosfera.

1. in aree non inquinate la concentrazione di idrocarburi non supera 0.05 ppm ed è rappresentata per la quasi totalità da metano di origine naturale.
2. nelle aree urbane si raggiungono concentrazioni dell'ordine di 3÷4 ppm.
3. gli idrocarburi alifatici ed aliciclici non evidenziano effetti sull'uomo a concentrazioni inferiori a 500 ppm.



4. 5.000 ppm di esano causano vertigini, 10.000 ppm convulsione e morte (concentrazione max nell'atmosfera 0.05 ppm).

5. 2.000 ppm di eptano causano leggere vertigini, 5000 ppm causano forti vertigini, 20.000 ppm determina narcosi e morte (concentrazione max nell'atmosfera 0.04 ppm).

6. 10.000 ppm di ottano causano narcosi (concentrazione max nell'atmosfera 0.03 ppm).

Epidemiologia

Nonostante i bassi livelli nell'atmosfera, l'uomo può assumere elevate concentrazioni di idrocarburi attraverso due vie:

- il tabacco ed il fumo di sigaretta
- l'esposizione professionale (lavoratori delle industrie produttrici di idrocarburi)

I livelli atmosferici di inquinamento da HC non consentono di poter valutare a tutt'oggi effetti di qualsiasi genere sullo stato di salute delle popolazioni. Tale situazione trova conferma nell'assenza di studi epidemiologici significativi.

Il Biossido di Zolfo (SO₂)

Genesi motoristica

Deriva dalla presenza di zolfo nel gasolio e, in quantità minore, nelle benzine. Non può tuttavia essere considerato un tracciante dell'inquinamento da traffico autoveicolare.

Tossicologia

La conoscenza della tossicità dell'SO₂ o degli SO_x sull'uomo è stata acquistata tramite fenomeni di esposizione professionale, essendo l'SO₂ un prodotto chimico di ampio uso industriale.



La reattività individuale dell' SO₂ può essere abbastanza ampia, tuttavia a valori pari a 3 ppm la maggior parte degli apposti è in grado di rilevare l'odore e inoltre manifesta un netto stato di irritazione alla congiuntiva e alle prime vie respiratorie.

L' SO₂ inalato dall'organismo viene assorbito per la maggior parte (40-90%) a livello delle vie aeree superiori, essendo facilmente solubili nello strato umido che riveste la mucosa di dette vie, viene quindi veicolata dal sangue nei vari tessuti, metabolizzata a solfito e bisolfito ed eliminata come solfato per via renale.

I più recenti studi oggi confermano che l'associazione "polveri + SO_x" riveste un ruolo insostituibile nel determinare fenomeni di patologie respiratorie.

Epidemiologia

La maggioranza delle ricerche epidemiologiche riguardano gli effetti dell'SO₂ combinati al pulviscolo sospeso.

L'associazione tra polveri e SO_x può essere causa di fenomeni diretti, cioè esercitati dalle sostanze veicolate in modo localizzato, oppure di fenomeni indiretti, favorendo cioè l'insorgenza di fenomeni morbosi che in altro modo non si sarebbero manifestati.

Nelle ricerche epidemiologiche si sono prese in considerazione la mortalità e la morbosità in rapporto alla durata dell'esposizione ed i risultati, indipendentemente dai parametri di indagine utilizzati, sono apparsi talvolta contrastanti

1. Effetti dannosi sono stati constatati per concentrazioni medie giornaliere di 0.07 ppm inalate in concomitanza con 100-200 Rg/m³ di pulviscolo.
2. Per una dose di inquinante pari almeno a 0.75 ppm ed un tempo di esposizione sufficiente elevato, dai 15' ai 120', si rileva un aumento della resistenza polmonare.



3. A concentrazione di circa 1 ppm di SO₂ vengono riferiti effetti quali modificazione dei parametri di funzionalità respiratoria (capacità vitale forzata, volume respiratorio forzato in un secondo, velocità di flusso medio-massima e velocità di flusso respiratorio massimo al 50%) un decremento nel flusso del muco nasale e nella sezione dei canali nasali, aumento della resistenza respiratoria e polmonare, aumento della frequenza del polso e del ritmo respiratorio e un decremento del volume scambiato.

4. Esposizione a nebbie di acido solforico a concentrazione variabile tra 0.35 mg/m³ e 21 mg/m³ per tempi tra 5÷60 minuti evidenziato effetti quali un aumento della frequenza respiratorio e una diminuzione del flusso respiratorio, un incremento della resistenza polmonare e irritazione.

5. Ricerche effettuate sull'esposizione industriale, pur mettendo in luce delle serie interferenze quando vengono presi in considerazione gruppi di lavoratori con abitudini al fumo ed esposizione ad altri inquinanti, hanno genericamente dimostrato una certa associazione tra concentrazioni di SO₂ comprese in range tra 20 ppm e 70 ppm ed effetti quali raffreddori, affaticamento respiratorio, tosse, catarro, dispnea.

Le Polveri Totali Sospese (PTS)

Genesi motoristica

La quantità di particolato solido che viene normalmente emessa da un motore a combustione interna è funzione di diversi fattori tra cui il tipo di combustibile e, nel caso del gasolio, anche delle condizioni di funzionamento.

L'ampio campo di variabilità che si riscontra nei motori diesel è dovuto essenzialmente all'influenza delle condizioni di manutenzione e di carico: se entrambe sono favorevoli, l'emissione è praticamente nulla, se invece il motore è sovraccaricato (e viene pertanto utilizzata una dosatura troppo ricca), oppure non curato, il rilascio di particolato è molto forte e provoca la classica fumosità nera allo scarico.



Il particolato deriva fundamentalmente da un elevato grado di eterogeneità della miscela aria combustione nei cilindri dovuta a scarsa miscelazione e/o evaporazione delle microgocce di gasolio che bruciano con fiamma di diffusione.

Una volta formate, le particelle embrionali o precursori si accrescono per aggregazione a particelle di dimensione comprese tra 0.01 Rm e 0.1 Rm e successivamente prendono parte, assieme ai gas combusti nel passaggio attraverso il condotto di scarico, ad una serie di processi quali l'evaporazione e la condensazione di sostanze vaporizzate, crescita per collisione con altre particelle, reazioni gas-liquido, catalisi eterogenea a adsorbimento superficiale di sostanze liquide e gassose.

Queste trasformazioni continuano anche dopo l'immissione nell'atmosfera per periodi di tempo molto lunghi a seguito del raffreddamento, diluizione, esposizione alla luce solare e interazioni con altre sostanze disperse nell'aria.

Dal punto di vista chimico il particolato diesel è costituito da particelle carboniose a struttura grafitica su cui sono adsorbite e condensate sostanze organiche, particolarmente idrocarburi ad alto peso molecolare, che costituiscono la cosiddetta frazione solubile e, in minor quantità, da sostanze inorganiche (solfati) e da tracce di metalli.

Le particelle solide emesse dai motori diesel hanno dimensione variabile tra 0.1 e 10 Rm; l'80% delle particelle ha diametro equivalente inferiore a 0.5 Rm; la produzione di particelle submicroniche aumenta nelle condizioni di funzionamento a pieno carico quando il rapporto di miscela assume valori molto bassi.

Tossicologia

Il sistema respiratorio umano può essere classificato come separatore aerodinamico nei confronti delle polveri inalate, essendo le stesse ritenute nel sistema respiratorio in funzione di diversi parametri quali la dimensione, la forma e la densità.



Le ricerche effettuate hanno consentito di stabilire che, mentre le particelle aventi un diametro inferiore a 0.1 Rm tendono a comportarsi come un gas e non si depositano nell'albero respiratorio, quelle di diametro inferiore o uguale a 5 Rm sono capaci di depositarsi nelle regioni nasofaringee, tracheo bronchiali ed alveolare.

A parte la granulometria, grande importanza nello studio degli effetti del pulviscolo sospeso sulla salute ha il livello al quale esso si deposita sia come particelle solide che come aerosol. Tale effetto dipende anche da fattori diversi dalla forma e dalla dimensione, quali il peso specifico, le caratteristiche chimiche.

Una volta penetrate nell'apparato respiratorio le particella vengono in poco tempo fagocitate dai macrofagi alveolari: scarse e comunque incomplete, soprattutto sotto l'aspetto quantitativo, le notizie sul loro destino finale anche perché su di esse interferiscono, oltre alle caratteristiche del pulviscolo, lo stato di salute e le abitudini di vita del soggetto che fanno sì che sopravvivenza nell'ambiente polmonare si limiti a brevi tempi (ore) o perduri a lungo (anni).

Epidemiologia

Molti sono gli studi che confermano attraverso l'indagine epidemiologica e sperimentale una stretta correlazione tra andamento della polverosità, presenza di inquinanti ed incidenza di manifestazioni morbose collettive, molte volte inasprite da una congiunzione sfavorevole con condizioni climatico-ambientali particolari (vedi SO₂ e NO_x).

Il Piombo

Genesi motoristica

La presenza di composti del piombo (piombo alchili) sottoforma di additivi antidetonanti nelle benzine comporta l'emissione di una serie di composti inquinanti contenenti piombo.

Parte dei prodotti di combustione contenenti piombo si accumulano in forma di depositi sulle pareti degli organi del motore, dei sistemi di scarico, del silenziatore, la restante parte viene scaricata all'esterno sottoforma di particelle solide.



Tossicologia

Al fine di identificare compiutamente il rischio da piombo è importante considerare in ogni suo aspetto il cosiddetto “ciclo del piombo in natura”, cioè le modalità con cui il metallo viene immesso nella biosfera, quali trasformazione subisce, come viene eliminato dal ciclo, legato al suolo, come componente insolubile e non più in grado di interferire con i processi vitali. Il piombo aggiunto alla benzina reagisce con composti alogenati, formando composti gassosi eliminati poi con gas di scarico.

Nell'ambiente vengono perciò immessi composti inorganici quali piccole particelle di bromuri e cloruri di Pb insieme ad ossicarbonati e ossidi di piombo. La deposizione del piombo avviene su tutte le superficie prossime alla strada: le acque superficiali, il terreno, la vegetazione.

Dalla disposizione su colture commestibili o su foraggi destinati all'alimentazione di animali da carne e dalla contaminazione delle acque sotterranee, il piombo può introdursi nella catena alimentare e di esercitare effetti negativi sulla salute umana.

Il piombo viene generalmente attraverso assorbito il tratto gastro-intestinale in seguito all'ingestione di cibi, acqua o in seguito all'inalazione di piccole particelle contenenti il metallo. Secondo le più attuali vedute sui coefficienti di ritenzione, gli esperti della CEE hanno concluso che il contributo del piombo atmosferico alla piombemia totale sia compreso tra il 10 e il 35%; il 35% viene raggiunto quando il contributo per via gastrointestinale è debole e l'esposizione al piombo atmosferico è forte.

Epidemiologia

L'assorbimento da parte dell'uomo, del piombo disperso nell'ambiente viene usualmente quantificato attraverso la determinazione del piombo emetico. Le variabili che condizionano le modalità di tale assorbimento sono molte.

1. il sesso maschile determina piombemie più alte rispetto a quello femminile in conseguenza del maggior numero di globuli rossi.



2. la piombemia aumenta in maniera direttamente proporzionale con il progredire dell'età (anche se non in maniera costante) : è stato verificato un incremento marcato fino la raggiungimento di un valore di equilibrio al termine della crescita corporea.

3. il consumo di alcool è correlabile alla piombemia e ne può determinare l'incremento, specialmente se il soggetto è contemporaneamente fumatore.

4. gli adulti non sono sensibili alla variazione stagionale di concentrazione atmosferica di piombo mentre lo sono in modo significativo i bambini.

I fattori che condizionano il passaggio del piombo dall'aerosol atmosferico all'interno dell'organismo, a livello degli alveoli polmonari, sono la granulometria, la forma e la solubilità delle particelle contenenti l'inquinante.

Se da un punto di vista ecologico le particelle più piccole appaiono come le più inquinanti, dal punto di vista della tossicologia umana le particelle grandi sono assai pericolose. I rapporti tra il diametro delle particelle inalabili e le possibilità che esse raggiungano le vie profonde respiratorie sono situati intorno a classi diametriche submicroniche.

Le particelle più piccole non sono trattenute dai polmoni, se non per una quota assai limitata, e fuoriescono con aria inquinata in ragione del 37÷65% mentre le particelle grandi si fermano nelle prime vie respiratorie e finiscono con il penetrare nell'apparato gastrointestinale ed essere assorbite insieme agli alimenti.

Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

Genesi motoristica

Gli idrocarburi policiclici aromatici sono definiti come composti organici contenenti due o più anelli benenici condensati i quali, a loro volta, possono essere più o meno sostituiti, caratterizzati da una solubilità relativamente bassa. Quasi la totalità dei PAH immessi in aria vengono adsorbiti dalle particelle.

Sia i PAH disciolti in acqua sia quelli adsorbiti dal materiale particolato possono subire in seguito all'esposizione ai raggi ultravioletti solari un processo di fotodecomposizione.



I PAH derivano principalmente da processi di pirolisi, dalla produzione del coke, dalla combustione del carbone, dalla combustione incompleta di materiali organici, dagli autoveicoli e, in piccola parte, da processi naturali.

La presenza di queste sostanze negli scarichi degli autoveicoli è molto maggiore nei motori a ciclo diesel rispetto a quelli a ciclo benzina.

Tossicologia

Si dispone di modeste informazioni sulla tossicità acuta, sub-acuta e cronica dei PAH a seguito di ingestione. Nei roditori Crocker et al. (1965) osservarono in seguito a continua esposizione a DMBaA, BaP, MCA in concentrazione variabili da 0.8 Rg/ml a 8 Rg/ml per un tempo di sette giorni metaplasma epiteliale nei tessuti respiratori. Sulla base delle evidenze sperimentali non sono riscontrati effetti tossicologici diversi dalla carcinogenesi.

Epidemiologia

L'effetto cancerogeno di alcuni IPA è stato inequivocabilmente dimostrato in laboratorio e colpisce in special modo l'apparato respiratorio e quello digerente.

Questi composti, estranei all'organismo umano (xenobiotici), vengono metabolizzati a composti solubili nei liquidi biologici e quindi escrete all'esterno. Prima della conversione in composti solubili e privi di azione tossica per l'organismo vivente, le molecole degli IPA subiscono una conversione metabolica intermedia a epossidi e idrossidi, condizioni queste di elevate reattività con molecole nucleari delle cellule che si traducono in lesioni citogenetiche.

L'assorbimento, distribuzione ed escrezione, i fenomeni di degradazione e la reattività dei metaboliti intermedi sono stati ampiamente studiati su animali da laboratorio e su sistemi in vitro. Per molti PAH (fluorantene, benzofluorantene, benzopirene, benzoperilene, indenopirene, dibenzoantracene) è stata inequivocabilmente dimostrata la potenziale attività cancerogena ed il possibile ritrovamento nell'ambiente e negli alimenti.



Limitando le considerazioni al benzopirene, è stata verificata un'attività fortemente cancerogena ed una diffusione molto ampia che copre aria, acqua, fumo di tabacco, alimenti e fumi di vulcanizzazione.

Studi epidemiologici riguardanti l'esposizione professionale di lavoratori (minatori, addetti industria gas e carbone e dell'industria dell'alluminio) hanno riscontrato un aumento dei tumori al polmone per esposizione prolungate a concentrazioni media di PAH di 30 Rg/m³. La stima dei rischi per la salute umana svolti da vari autori contengono i seguenti dati.

- Rischio dell'1% di morti per cancro al polmone in seguito all'esposizione per 25 anni per ogni Rg/m³ di BaP.

- Rischio di 5-9 morti ogni 100.000 abitanti esposti a concentrazioni di 1 ngBaP/m³ per esposizioni di 50 anni.

L'inquinamento acustico e le vibrazioni

Le onde di pressione possono avere effetti negativi sia sull'uomo che sulle cose. Le conseguenze specifiche del fenomeno dipendono da svariati fattori tra i quali:

- La distribuzione in frequenza dell'energia associata al fenomeno (spettro di emissione), con riferimento, principalmente, alle due categorie fondamentali di fenomeni acustici e vibratorii.

- L'entità del fenomeno, individuata dall'andamento temporale di indicatori quali la pressione efficace o l'intensità dell'onda di pressione, espressi in termini assoluti oppure in termini di livello in dB.

- L'estensione temporale del fenomeno, distinguendo in particolare tra fenomeni relativamente costanti nel tempo (si pensi all'emissione sonora di un macchinario) e fenomeni di natura impulsiva (esplosioni, perforazioni,...).

- Le caratteristiche dell'ambiente, in relazione alle modalità di propagazione dell'onda di pressione.



Gli effetti sulle cose sono dovuti sia ad eventi puntuali, ad esempio la rottura di vetri causati da esplosioni, sia a fenomeni prolungati nel tempo prevalentemente associati alle vibrazioni. Tali effetti hanno normalmente una rilevanza quantitativa e qualitativa piuttosto limitata.

Al contrario, notevoli possono essere in termini sia qualitativi che quantitativi le conseguenze per gli abitanti delle zone adiacenti a grandi arterie di traffico.

Gli effetti del rumore sull'organismo umano sono molteplici e complessi: possono avere carattere temporaneo o permanente e possono riguardare specificatamente l'apparato uditivo, oppure interagire negativamente con altri fattori generando situazioni patologiche a carico del sistema nervoso o endocrino.

In fisiologia acustica gli effetti del rumore vengono classificati in tre categorie denominate danno, disturbo e fastidio.

C10.2.2 GLI EFFETTI DI DANNO

Gli effetti di danno si riferiscono ad alterazioni irreversibili (o parzialmente irreversibili) dovute al rumore, che siano oggettivabili dal punto di vista clinico (ad esempio, l'innalzamento della soglia dell'udibile oppure la riduzione della capacità di comprensione del parlato).

L'azione patogena del rumore aumenta con il crescere dell'intensità sonora; non è tuttavia possibile stabilire un rapporto lineare relativo all'andamento dei due fenomeni, sia per la mancanza di una correlazione diretta tra incremento della potenza acustica recepita ed intensità della sensazione acustica provata, sia per il diversificarsi del danno in relazione alle entità dei livelli sonori impattanti.

Si preferisce, pertanto, definire una serie di bande di intensità, i cui limiti siano stati definiti sperimentalmente ed in corrispondenza dei quali tende a verificarsi un "danno tipo".



Basandosi sui dati forniti dalla letteratura e su elementi acquisiti con la sperimentazione, COSA e NICOLI nel 1974 hanno messo a punto una scala della lesività che comprende sei fasce di livelli e di intensità sonore (da 0-35 dB a oltre 150 dB), ciascuno dei quali produce una serie di effetti caratteristici sul soggetto esposto che vanno dalla mancanza di fastidio all'insorgenza immediata del danno.

Il criterio di rischio MAUGERI e ODESCALCHI stabilisce anch'esso dei valori limite rispetto alle varie frequenze che compongono il rumore e pone particolare attenzione nel ridurre opportunamente i livelli di intensità tollerabile alle medie ed alle alte frequenze a causa della maggiore nocività di queste.

Tale criterio di rischio definisce cinque range di intensità tollerabili per le bande di ottava che vanno da quella identificata in frequenza di 31.5 Hz a quella identificata in frequenza di 8000 Hz.

I range di intensità si riferiscono a tempi di esposizione di differente durata: le intensità limite diminuiscono progressivamente in relazione al prolungarsi dei tempi di esposizione previsti.

Le intensità tollerabili sono comprese tra 106 dB e 95 dB per un'esposizione di 1 minuto al giorno, tra 103 dB e 91 dB per esposizione di 3 minuti al giorno e tra 99 dB e 85 dB per esposizione di 30 minuti al giorno.

Per quanto riguarda le condizioni ordinarie di lavoro (8 ore al giorno per 290 giorni l'anno) i limiti di tollerabilità vanno da 96 dB a 75 dB, mentre per tempi più prolungati (9-10 ore giorno, limite questo facilmente raggiungibile per effettuazione di ore di straordinario) i limiti sono compresi tra 94 e 74 dB.

È da notare che negli ultimi due casi la banda di frequenza più pericolosa e che quindi esige tollerabilità minori è quella dei 4000 Hz e non quella successiva, cioè identificata dalla frequenza nominale di 8000 Hz.

Secondo ricerche sperimentali, cui fa riferimento la norma ISO 1999, è stato constatato che qualora un gruppo di persone sia esposto ad un livello continuo equivalente di rumore uguale o minore a 80 dB, il rischio aggiunto di perdita dell'udito è nullo.



Ciò vale dire che in tali condizioni anche se in realtà un certo numero di soggetti subisce nel tempo una progressiva perdita dell'udito, tale perdita non è imputabile agli effetti del rumore, ma ad altre cause di natura infettiva, traumatica, arteriosclerotica.

È da tener presente che secondo la citata raccomandazione ISO si ha perdita di udito quando "si verifichi un innalzamento definitivo della soglia uditiva biaurale di almeno 25 dB, calcolata come media aritmetica dei singoli innalzamenti della soglia per le frequenze di 500, 1000, 2000 Hz".

Qualora invece i soggetti siano esposti a livelli equivalente a livelli continui di rumore superiore a 80dB durante l'intera giornata lavorativa, si verifica un incremento del rischio aggiunto che progredisce sia durante dell'esposizione che con l'entità del livello acustico presente nell'ambiente.

C10.2.1.3 Gli effetti di disturbo

Gli effetti di disturbo riguardano le alterazioni temporanee delle condizioni psico-fisiche del soggetto che determinano conseguenze fisio-patologiche ben definite su:

- apparato cardiovascolare
- sistema nervoso centrale
- apparato digerente
- ghiandole endocrine
- senso dell'equilibrio
- vista
- sistema sessuale
- apparato respiratorio



- apparato muscolare
- psiche
- sonno
- vita di relazione

Conseguenze sull'apparato cardiovascolare

Con rumori intermittenti si osserva un'accelerazione delle frequenza cardiaca, con conseguente minor gittata e minor nutrimento del cuore per riduzione del flusso nelle arterie coronarie.

Tutti i ricercatori sono concordi nel ritenere che un rumore di intensità superiore a 70 dB (Lehman) determini una brusca contrazione dei vasi sanguigni con centralizzazione della circolazione e conseguente minor irrorazione sanguigna, maggior aggregazione dei globuli rossi e tendenza alla trombosi: questa reazione è tanto più accentuata quanto più intenso il rumore. Cessato il rumore, lo spasmo vascolare scompare tanto più lentamente quanto più lunga è stata l'esposizione.

Sia per motivi precedentemente esposti, sia per capacità di agire come stress e provocare la liberazione di una grande quantità di adrenalina, si può ritenere certa la capacità del rumore di provocare arteriosclerosi (la malattia la cui lesione specifica è l'arteriosclerosi).

Conseguenze sul sistema nervoso centrale

Già nei primi anni del Novecento furono messi in rilievo gli effetti del rumore improvviso sulla circolazione cerebrale. In seguito sono state stabilite precise correlazioni tra andamento dell'encefalogramma e intensità, qualità e durata della esposizione al rumore.



Conseguenze sull'apparato digerente

Studi meno recenti (Smith e Laird, 1930) parlano di azione inibitrice sulle secrezioni ghiandolari del tratto gastro-intestinale. Ciò sembrerebbe in accordo con il meccanismo di attivazione simpatica indotto dal rumore; indagini più recenti segnalano invece la secrezione gastrica di acido cloridrico. C'è comunque notevole accordo sul possibile effetto lesivo del rumore sull'apparato gastrointestinale, che precocemente si traduce in inappetenza e disturbi digestivi e, alla lunga, in gastriti e talora ulcera. A ciò si devono aggiungere fenomeni spastici della cistifellea.

Conseguenze sul ghiandole endocrine

Inizialmente aumenta l'attività di certe ghiandole endocrine per rispondere allo stress, ma successivamente tale eccessiva attività porta ad esaurimento funzionale, con minore capacità di resistenza ed adattamento agli eventi della vita. Tra le molte altre dannose conseguenze di queste alterazioni endocrine va ricordata la riduzione di alcune categorie di globuli bianchi, con conseguente diminuzione delle difese nei confronti di batteri e virus.

Conseguenze sul senso dell'equilibrio

Per livelli di rumore oltre i 110 dB si può avere una sensazione accentuata di vertigine e nausea, che produce insicurezza nel movimento e una minore capacità di autocontrollo.

Conseguenze sulla vista

Le conseguenze dirette sulla vista sono riconducibili a una diminuzione dell'acutezza visiva per difficoltà di accomodazione e dilatazione della pupilla, a una riduzione della percezione del rilievo e del riconoscimento dei colori, a un'alterazione della visione notturna. Per elevate intensità di rumore si può verificare un restringimento del campo visivo.



Conseguenze sull'apparato respiratorio

Il rumore aumenta la frequenza respiratoria, mentre diminuisce il volume corrente (volume di aria che viene scambiato ad ogni singolo atto respiratorio). Il consumo di ossigeno presenta una diminuzione costante, anche se non grande; alla lunga c'è la possibilità che anche questo fatto incida negativamente.

Conseguenze sull'apparato muscolare

Aumento del tono muscolare proporzionale all'intensità del rumore.

Conseguenze psicologiche

Il rumore produce sull'uomo effetti sul carattere, sul comportamento e sulla personalità.

L'esposizione prolungata a rumori intensi provoca alterazioni dell'affettività che si traducono in fatti depressivi ed aggressivi.

Data la relativa difficoltà ad accertare e quantizzare con esattezza gli effetti psichici del rumore, i ricercatori ricorrono frequentemente alla fisiologia e alla psicologia sensoriale. Si è così giunti a dimostrare le seguenti alterazioni della funzionalità psicomotoria: nei tempi di reazione in relazione all'aumento di intensità del rumore, aumento degli errori, diminuzione dell'attenzione e della precisione.

Il rumore inoltre interferisce negativamente sul meccanismo dell'apprendimento determinando un susseguirsi di relazioni di allarme: i processi di memorizzare, confronto e sintesi sono così disturbati conseguente rallentamento nell'apprendimento.

Tra gli effetti psicologici provocati dal rumore ha notevole importanza la cosiddetta fastidiosità, dovuta in gran parte alla durata dello stimolo sonoro, oltre che alla sua intensità, alla sua frequenza e al timbro. Per quanto riguarda l'ansietà, Davis e coll. (1957) hanno dimostrato che i soggetti esposti al rumore molto intenso sono più ansiosi.



Conseguenze sul sonno

A parità di intensità, il rumore notturno è molto più dannoso di quello diurno per tre motivi:

- i soggetti esposti presentano in genere segni di affaticamento e una più elevata reattività psichica, poiché persistono gli effetti degli stress accumulati durante le ore precedenti
- tale rumore è spesso inaspettato e dunque psichicamente meno accettabile e caratterizzato da una componente ansiogena molto superiore
- è meno tollerato per la maggior differenza che in genere si verifica tra rumore di fondo e picchi durante la notte.

Riguardo al livello di intensità sonora al quale avverrebbe l'interruzione del sonno, Merz/1968) sostiene che ciò si verifichi in presenza di rumori di picco di 70 dB e con rumore di fondo di almeno 60 dB.

Secondo Cosa (1972) in parecchie condizioni si hanno disturbi del sonno anche con livelli di rumore assai più bassi, in relazione con la frequenza degli eventi disturbanti, con la sequenza che li caratterizzano e con la condizione psicofisiche del soggetto.

Nuovi studi fondati sullo studio elettroencefalografico del sonno hanno permesso di stabilire che il sonno attraversa in ogni individuo stadi di differente profondità e caratteristiche.

Nello stadio 1 l'uomo dorme molto superficialmente e uno stimolo anche molto piccolo purché sufficientemente nuovo e inaspettato, lo sveglia.

Negli stadi 2, 3 e 4 il sonno è sempre più profondo e Williams e altri dimostrarono nel 1964 che s'innalza la soglia delle stimolazioni capaci di provocare sollecitazioni elettroencefalografiche, mentre la risposta di vasocostrizione periferica a stimoli sonori non era modificata durante i vari stadi, segno che il sistema nervoso vegetativo mantiene quasi inalterata nel sonno la sua capacità di rispondere a stimoli e quindi anche di causare alla lunga danni ai vari sistemi ed organi innervati.



La universale concordanza nell'ammettere una maggior lesività del rumore notturno è rispecchiata nelle proposte di livelli massimi di rumorosità effettuata nei vari Paesi, dove si abbassa almeno di 3 dB e in cui alcuni casi di 10-15 dB rispetto alle ore diurne il livello definito tollerabile per le ore notturne.

Conseguenze sulla vita di relazione

Si parla di "mascheramento" in senso stretto quando un suono di frequenza bassa si sovrappone ad un altro nel cui spettro prevalgono frequenze più elevate; ma in senso lato si può parlare di mascheramento, a prescindere dalle frequenze, quando rumori di intensità maggiore ne sovrastano altri di intensità minore.

La voce di conversazione spazia in genere entro campi di intensità tra 40 dB e 65 dB. Per evitare effetti di mascheramento è necessario che la rumorosità ambientale sia inferiore di almeno 10 dB alla pressione acustica efficace esercitata dalla voce dell'interlocutore e misurata all'orecchio di ascolta.

Ad esempio una rumorosità di 50 dB rende difficile la comprensione di messaggi verbali alla distanza di 3,7 4,0 m, anche se trasmessi con voce molto forte. La perdita o la distorsione del valore semantico dell'informazione trasmessa influisce negativamente sia sulle relazioni sociali che sul lavoro, con perdite di tempo, energia, e attenzione, perché altrettanto dannoso può essere lo sforzo necessario per interpretare correttamente una conversazione: ciò favorisce l'instaurarsi di fatica mentale e di "usura" nel soggetto esposto.

Gli effetti di annoyance

Gli effetti di annoyance, termine inglese di non facile traduzione, indicano un sentimento di scontentezza riferito al rumore che l'individuo sa o crede possa agire ssu di lui in modo negativo; questo fastidio è la risposta soggettiva agli effetti combinati dello stimolo disturbante e di altri fattori di natura psicologica, sociologica ed economica.

La "risposta" di una comunità esposta a fonoinquinamento dipende dai seguenti fattori.



Livello di rumore

A titolo di esempio vengono riportati i risultati di un'indagine svolta in Danimarca in cui si è rilevata la percentuale di soggetti disturbati dal rumore (di origine autoveicolare) in funzione del livello equivalente continuo misurato su base 24 ore:

Livello Equivalente [dB(A)] 70 65 55 45

Soggetti disturbati [%] 75 55 15 0

Tempo di esposizione

Sono stati messi a punto criteri di predizione del disturbo da fonoinquinamento ambientale, adottati dall'US Department of Housing and Urban Development, che correlano la percentuale di tempo per cui determinati livelli sonori sono superati con il tipo di accettabilità da parte della popolazione.

Fascia temporale nella quale si verifica il fenomeno

A parità di livelli sonori e tempi di esposizione, il periodo di riferimento nel quale si verifica l'evento ha effetti diversi sull'annoyance: l'intervallo diurno è evidentemente meno "sensibile" rispetto all'intervallo notturno.

Destinazione d'uso del territorio

Zone destinate ad attività esclusivamente industriali hanno ovviamente una "sensibilità" al fonoinquinamento decisamente inferiore rispetto ad aree residenziali oppure ad aree con destinazione a uso scolastico e ospedaliero.