



Università degli Studi di Trieste
Dipartimento di Ingegneria e Architettura
Laurea Magistrale: Ingegneria Civile
Corso di INFRASTRUTTURE AEROPORTUALI

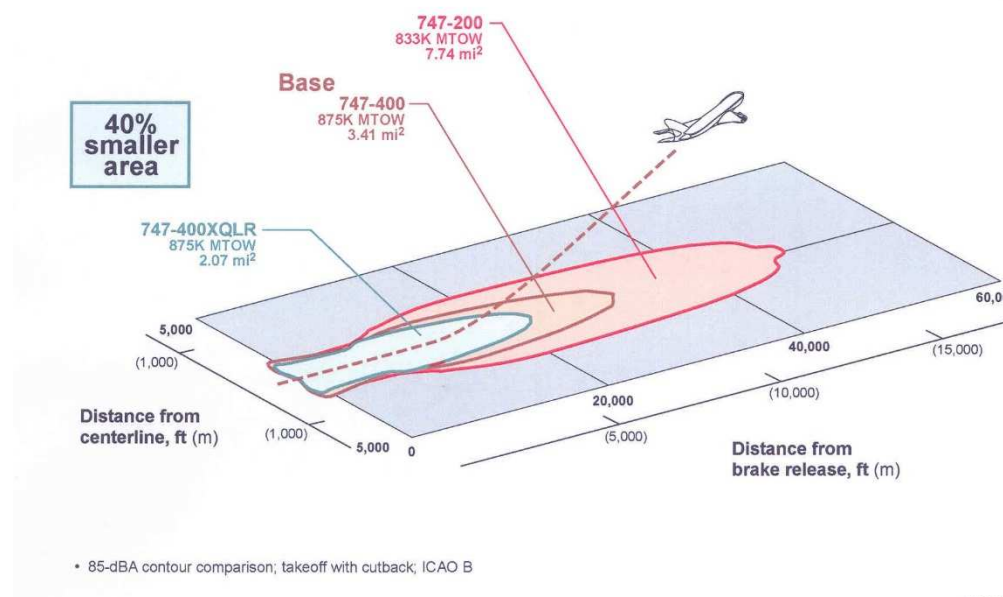
Lezione 08: Inquinamento ambientale e acustico

Roberto Roberti

Tel.: 040/558.3588

E-mail: roberti@dia.units.it

Anno accademico 2015/2016



Sommario

TIPOLOGIE DI IMPATTO AMBIENTALE DOVUTE AL TRASPORTO AEREO

LEGISLAZIONE SULL'IMPATTO AMBIENTALE

INQUINAMENTO ARIA, ACQUA

INQUINAMENTO ACUSTICO

GENESI RUMORE AERONAUTICO

NORMATIVA

DANNO, DISTURBO E FASTIDIO DA RUMORE

RICHIAMIO DI ACUSTICA

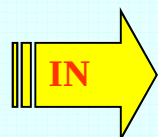
INDICI DI DISTURBO ACUSTICO

PREVISIONI DI RUMORE AERONAUTICO

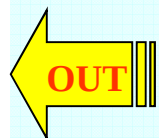
INTERVENTI SUL RUMORE AERONAUTICO

Gli impatti ambientali e gli aeroporti

Attività di volo



Carburante Jet



Mon. di carbonio (CO)

Ossidi di azoto NO_x

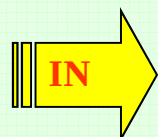
Idrocarburi HC

Anidride carbonica CO₂

Polveri

Rumore

Attività di bordo



Catering

Imballaggi

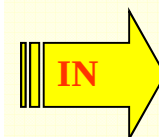
Riviste



Rifiuti organici

Rifiuti da imballaggi

Attività di terra



Energia

Acqua

Lubrificanti, detergenti



CO, NO_x, SO_x

SOV, Acidi inorganici

Rifiuti

Scarichi idrici

Legislazione sull'impatto ambientale

NORME EUROPEE

Direttiva 27 giugno 1985, n. 85/337/CEE, Valutazione dell'impatto ambientale di determinati progetti pubblici e privati

Direttiva 3 marzo 1997, n. 97/11/CE, Modifica la Direttiva n. 85/337/CEE concernente la valutazione dell'impatto ambientale di determinati progetti pubblici e privati

NORME ITALIANE

Legge 8 luglio 1986, n. 349, Istituzione del Ministero dell'ambiente e norme in materia di danno ambientale (art. 6);

DPCM 10 agosto 1988, n. 377, Regolamentazione delle pronunce di valutazione di compatibilità ambientale (..);

DPCM 27 dicembre 1988, Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale e la formulazione dei giudizi di compatibilità ambientale (...);

DPR 12 aprile 1996, Atto di indirizzo e coordinamento (...) concernente disposizioni in materia di valutazione di impatto ambientale;

DPR 11 febbraio 1998, Disposizioni integrative al DPCM 10 agosto 1988, n. 377;

DPR 2 settembre 1999, n. 348, Regolamento recante norme tecniche concernenti gli studi di impatto ambientale per talune categorie di opere;

DPCM 3 settembre 1999, Atto di indirizzo e coordinamento che modifica e integra il precedente atto di indirizzo e coordinamento (...) concernente disposizioni in materia di valutazione di impatto ambientale.

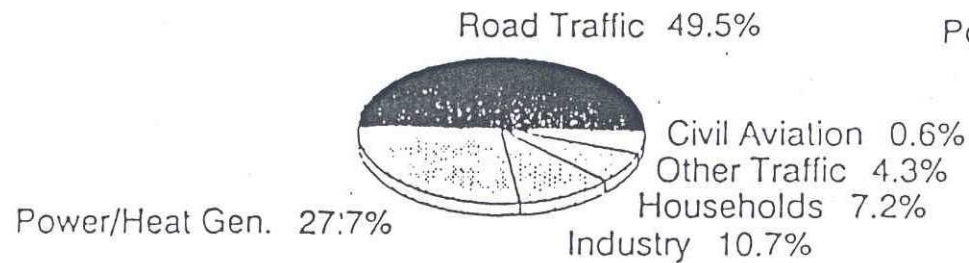
DPCM 1° settembre 2000 Modificazioni e integrazioni del Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 3 settembre 1999, per l'attuazione dell'art. 40, primo comma, della Legge 22 febbraio 1994, n. 146, in materia di valutazione di impatto ambientale

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152: Norme in materia ambientale. (G.U. n. 88 del 14/04/2006 - S.O. n. 96) - Testo vigente - aggiornato, da ultimo, al D.Lgs. n. 188/2008

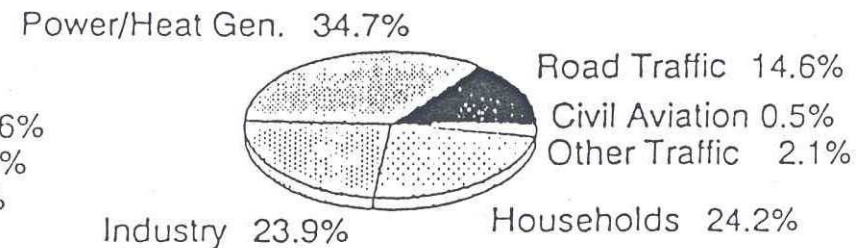
Inquinamento dell'aria (1)

- Attività di volo, mezzi terrestri
- Sistema di sfogo serbatoi combustibile
- Lavorazioni di officina per:
 - operazioni di lavaggio chimico
 - operazioni di sabbiatura
 - operazioni di tornitura/pallinatura/molatura
 - operazioni di galvanica
 - operazioni di metallizzazione
- Revisione aeromobili per:
 - operazioni di svernatura, verniciatura, lavaggio
- Manutenzione per: ricondizionamento cabine
- Banco prove motori
- Centrali termiche

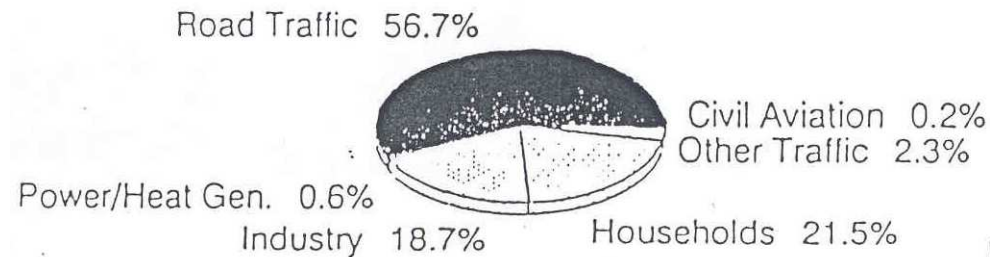
Inquinamento dell'aria (2)



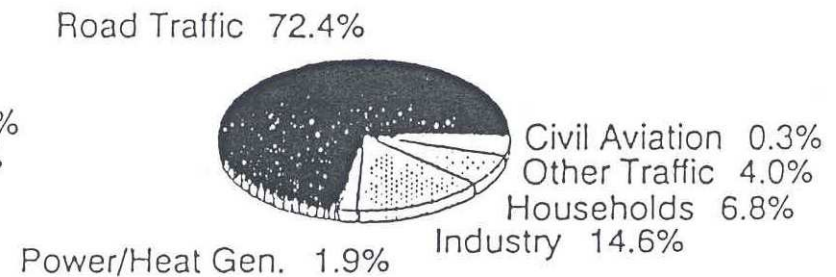
Nitrogen Oxides NO_x



Carbon Dioxide CO_2

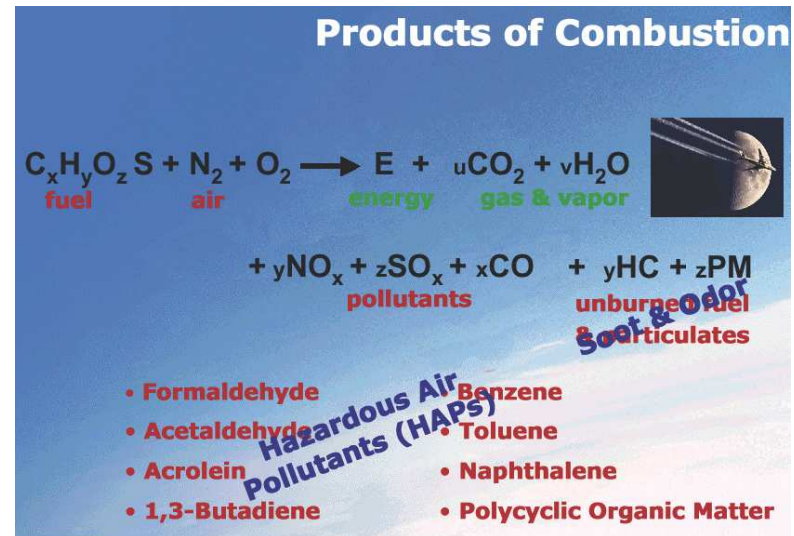


Carbon Monoxide CO



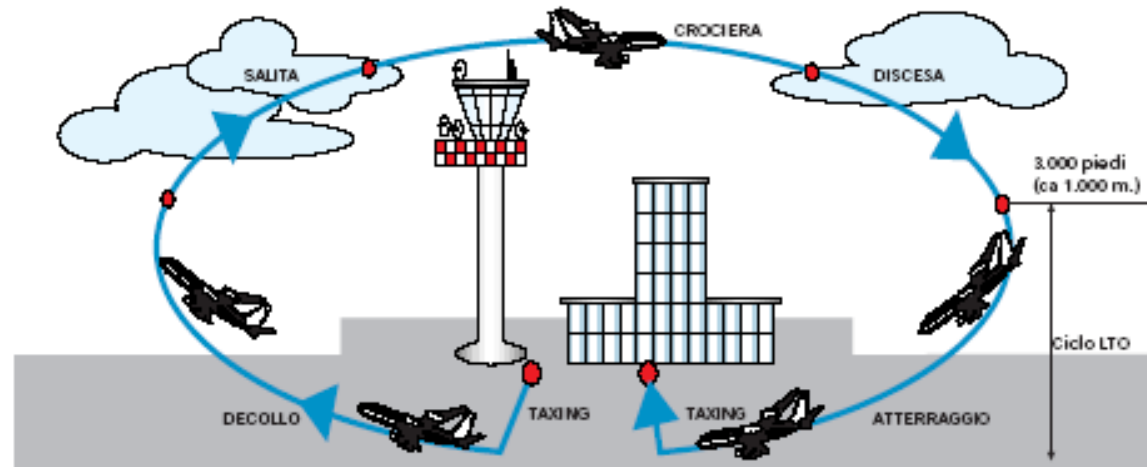
Hydro Carbons HC

Inquinamento dell'aria (3)



Inquinamento dell'aria (4)

ANESSO 16 VOLUME II
Emissione dei motori degli
aerei



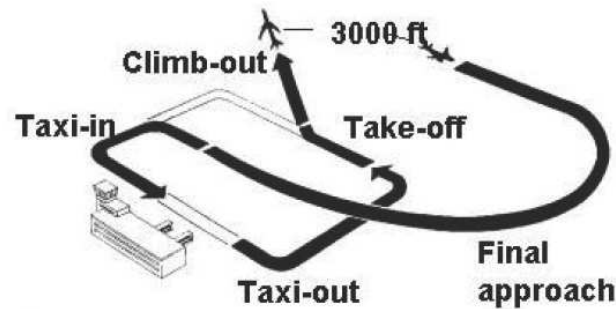
METODOLOGIA EMEP/CORINAR

CORINAIR – CORE Inventory of AIR emissions– è un progetto promosso sin dal 1995 dall'Agenzia Europea per l'Ambiente, finalizzato alla raccolta, la gestione e la pubblicazione di informazioni sulle emissioni in atmosfera, relativamente a tutte le rilevanti fonti di impatti ambientali.

EMEP è il Programma cooperativo per il monitoraggio e la valutazione della trasmissione a lungo raggio di inquinanti atmosferici in Europa finalizzato a fornire con regolarità informazioni in materia ai Governi, specie per la messa a punto di protocolli internazionali sulla riduzione delle emissioni atmosferiche.

Inquinamento dell'aria (5)

ICAO LTO Cycle Definition



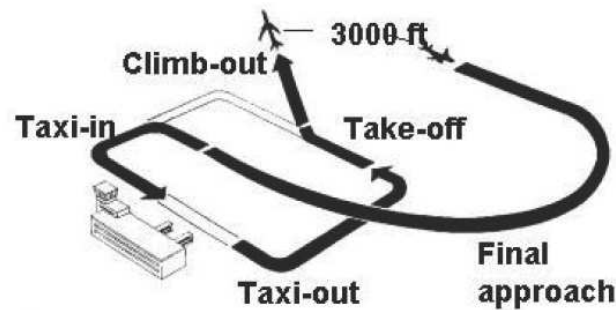
Operating mode	Power setting	Time in mode
1. Taxi / idle	7% take-off thrust	26.0 minutes
2. Take-off	100% std day take-off thrust	0.7 minutes
3. Climb	85% take-off thrust	2.2 minutes
4. Approach	30% take-off thrust	4.0 minutes

$$\text{Average } [Dp/F_{00}]^*_{\text{emittant}} = \frac{\sum (\text{Operating Mode Emission Rate}) \cdot (\text{Time in Mode})}{\text{Sea Level Static Take-Off Thrust } (F_{00})}$$

Operazione	Monossido di carbonio	Idrocarburi	Ossido di azoto	Durata di ciascuna operazione (min.)
Rullaggio	103	84	1	Variabile
Decollo 1° fase	10	12	148	1,0
Decollo 2° fase (*)	10	13	94	2,2
Avvicinamento	29	12	20	4,0
Atterraggio	10	13	94	0,4

Inquinamento dell'aria (6)

ICAO LTO Cycle Definition



Operating mode	Power setting	Time in mode
1. Taxi/idle	7% take-off thrust	26.0 minutes
2. Take-off	100% std day take-off thrust	0.7 minutes
3. Climb	85% take-off thrust	2.2 minutes
4. Approach	30% take-off thrust	4.0 minutes

$$\text{Average } [D_p/F_{00}]^*_{\text{emittant}} = \frac{\sum (\text{Operating Mode Emission Rate}) \cdot (\text{Time in Mode})}{\text{Sea Level Static Take-Off Thrust } (F_{00})}$$



ICAO ENGINE EXHAUST EMISSIONS DATA BANK SUBSONIC ENGINES

ENGINE IDENTIFICATION: Trent 900
UNIQUE ID NUMBER: 58R040
ENGINE TYPE: TF

BYPASS RATIO: 5.7
PRESSURE RATIO ($\pi_{0.5}$): 41.52
RATED OUTPUT ($P_{0.5}$) (kW): 413.05

REGULATORY DATA

CHARACTERISTIC VALUE:	HC	CO	NOx	ENGINE NUMBER
D_p/F_{00} (g/kN) at SN	1.7	23.1	79.6	6.9
AS % OF ORIGINAL LIMIT	8.6 %	19.6 %	43.8 %	42.8 %
AS % OF CAEP/2 LIMIT (NOx)			79.6 %	
AS % OF CAEP/4 LIMIT (NOx)			67.3 %	

DATA STATUS

- PRE-REGULATION
- x CERTIFICATION
- REVISED (SEE REMARKS)

TEST ENGINE STATUS

- NEWLY MANUFACTURED ENGINES
- x DEDICATED ENGINES TO PRODUCTION STANDARD
- OTHER (SEE REMARKS)

EMISSIONS STATUS

- x DATA CORRECTED TO REFERENCE (ANNEX 16 VOLUME II)

CURRENT ENGINE STATUS

- (IN PRODUCTION, IN SERVICE UNLESS OTHERWISE NOTED)
- OUT OF PRODUCTION
- OUT OF SERVICE

MEASURED DATA

MODE	POWER SETTING (VF ₀₀)	TIME minutes	FUEL FLOW kg/s	EMISSIONS INDICES (g/kg)			ENGINE NUMBER
				HC	CO	NOx	
TAKE-OFF	100	0.7	4.03	0.02	0.27	47.79	-
CLIMB OUT	85	2.2	3.19	0	0.19	34.39	-
APPROACH	30	4.0	1.05	0	0.54	11.58	-
TOTAL		7	8.27	0.09	14.91	5.11	-
LTO TOTAL FUEL (kg) or EMISSIONS (g)			1257	462	784	28029	-
NUMBER OF ENGINES				1	1	1	1
NUMBER OF TESTS				3	3	3	3
AVERAGE D_p/F_{00} (g/kN) or AVERAGE SN (MAX)				1.1	18.8	67.81	5.34
SIGMA (D_p/F_{00} in g/kN, or SN)				-	-	-	-
RANGE (D_p/F_{00} in g/kN, or SN)				0.95 - 1.24	17.71 - 19.67	65.76 - 69.5	4.7 - 6.0

ACCESSORY LOADS

POWER EXTRACTION 0 (kW)
STAGE BLEED 0 % CORE FLOW

AT - POWER SETTINGS
AC - POWER SETTINGS

ATMOSPHERIC CONDITIONS

BAROMETER (kPa)	109.2
TEMPERATURE (K)	287
ABS HUMIDITY (kg/kg)	.0053 - .0085

FUEL

SPEC	AVTUR
R/C	1.95
ANON (%)	10

MANUFACTURER: Rolls-Royce plc
TEST ORGANIZATION: Rolls-Royce plc
TEST LOCATION: SINFIL, Derby
TEST DATES: FROM Sep 94 TO -

REMARKS

1. Data from certification report DMS59304

Inquinamento dell'aria (7)

Table B-1 LTO Emission Factor by Aircraft

		LTO emissions factors/airplane (kg/LTO/aircraft) ⁽¹⁰⁾					Fuel consumption (kg/LTO/aircraft)
	Aircraft ⁽¹¹⁾	CO ₂ ⁽⁹⁾	HC	NO _x	CO	SO _x ⁽⁹⁾	
Source: ICAO (2004) ⁽¹⁾	Large Commercial Aircraft ⁽²⁾	A300	5450	1.25	25.86	14.80	1.72
		A310	4760	6.30	19.46	28.30	1.51
		A319	2310	0.59	8.73	6.35	0.73
		A320	2440	0.57	9.01	6.19	0.77
		A321	3020	1.42	16.72	7.55	0.96
		A330-200/300	7050	1.28	35.57	16.20	2.23
		A340-200	5890	4.20	28.31	26.19	1.86
		A340-300	6380	3.90	34.81	25.23	2.02
		A340-500/600	10660	0.14	64.45	15.31	3.37
		707	5890	97.45	10.96	92.37	1.86
		717	2140	0.05	6.68	6.78	0.68
		727-100	3970	6.94	9.23	24.44	1.26
		727-200	4610	8.14	11.97	27.16	1.46
		737-100/200	2740	4.51	6.74	16.04	0.87
		737-300/400/500	2480	0.84	7.19	13.03	0.78
		737-600	2280	1.01	7.66	8.65	0.72
		737-700	2460	0.86	9.12	8.00	0.78
		737-800/900	2780	0.72	12.30	7.07	0.88
		747-100	10140	48.43	49.17	114.59	3.21
		747-200	11370	18.24	49.52	79.78	3.60
		747-300	11080	2.73	65.00	17.84	3.51
		747-400	10240	2.25	42.88	26.72	3.24
		757-200	4320	0.22	23.43	8.08	1.37
		757-300	4630	0.11	17.85	11.62	1.46
		767-200	4620	3.32	23.76	14.80	1.46
		767-300	5610	1.19	28.19	14.47	1.77
		767-400	5520	0.98	24.80	12.97	1.75
		777-200/300	8100	0.66	52.81	12.76	2.56
		DC-10	7290	2.37	35.65	20.59	2.31
		DC-8-50/60/70	5360	1.51	15.62	26.31	1.70
		DC-9	2650	4.63	6.16	16.29	0.84
		L-1011	7300	73.96	31.64	103.33	2.31
		MD-11	7290	2.37	35.65	20.59	2.31

ICAO Preliminary Unedited Version – 15 April 2007

FATTORI DI EMISSIONE CORINAIR (Kg/cicli LTO)						
Tipologia di velivolo	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	COV	SO ₂
A 300	5470,00	1,00	0,20	27,21	9,30	1,70
A 310	4900,00	0,40	0,20	22,70	3,40	1,50
A 320	2560,00	0,04	0,10	11,00	0,40	0,80
BAC 1-11	2150,00	6,80	0,10	4,90	61,60	0,70
BAE 146	1800,00	0,16	0,10	4,20	1,20	0,60
B 707*	5880,00	9,80	0,20	10,80	87,80	1,90
B 727	4455,00	0,30	0,10	12,60	3,00	1,40
B 727*	3980,00	0,70	0,10	9,20	6,30	1,30
B 737 – 300	2905,00	0,20	0,10	8,00	2,00	0,90
B 373*	2750,00	0,50	0,10	6,70	4,00	0,90
B 373 – 400	2625,00	0,08	0,10	8,20	0,60	0,80
B 747 – 200	10680,00	3,60	0,30	53,20	32,00	3,40
B 747*	10145,00	4,80	0,30	49,20	43,60	3,20
B 747 – 400	10710,00	1,20	0,30	56,50	10,80	3,40
B 757	4110,00	0,10	0,10	21,60	0,80	1,30
B 767	5405,00	0,40	0,20	26,70	3,20	1,70
Caravelle*	2655,00	0,50	0,10	3,20	4,10	0,80
DC 8	5890,00	5,80	0,20	14,80	52,20	1,90
DC 9	2780,00	0,80	0,10	7,20	7,40	0,90
DC 10	7460,00	2,10	0,20	41,00	19,20	2,40
F 28	2115,00	5,50	0,10	5,30	49,30	0,70
F 100	2340,00	0,20	0,10	5,70	1,20	0,70
L 1011*	8025,00	7,30	0,30	29,70	65,40	2,50
SAAB 340	945,00	1,40	0,03	0,30	12,70	0,30
Tupolev	6920,00	8,30	0,20	14,00	75,90	2,20
Concorde	20290,00	10,70	0,60	35,20	96,00	6,40
Gajet	2150,00	0,10	0,10	5,60	1,20	0,70

Tabella 1 – Fattori di emissione CORINAIR per tipologia di velivolo (Kg/cicli LTO).

Inquinamento dell'aria (8)

Sistema di sfogo dei serbatoi,

Operazioni di manutenzione

Emissioni di veicoli terrestri

Centrali di riscaldamento

Fuel damping

INQUINANTE	EMISSIONI (kg)		EMISSIONI SPECIFICHE (g/ora)	
	2000	2001	2000	2001
solventi organici	44,1	27,7	0,012	0,007
acidi inorganici	53	61,3	0,014	0,016
alluminio	12	8,6	0,003	0,002
CO	35.773	41.554	9,335	10,870
ossidi di azoto	78.854	82.626	20,578	21,620
ossidi di zolfo	15.750	14.175	4,110	3,710
polveri totali	515	533	0,134	0,140
SOV	14.527	9.141	3,791	2,393
tensioattivi	0,5	0,03	0,0001	0

Inquinamento dell'acqua

Scarichi idrici

Detergenti

Diserbanti

Perdite carburanti

Lavorazioni in zona tecnica

Lavorazioni di officina per:
operazioni di lavaggio chimico
controlli non distruttivi
operazioni di galvanica
Revisione aeromobili per:
operazioni di verniciatura, verniciatura, lavaggio
Servizi generali
Centrale idrica
Centrale termica

Inquinamento acustico

CAUSE DELL'INQUINAMENTO ACUSTICO IN CAMPO AEROPORTUALE

Motori a turbogetto

Incremento del traffico aereo

Incremento dell'urbanizzazione del territorio

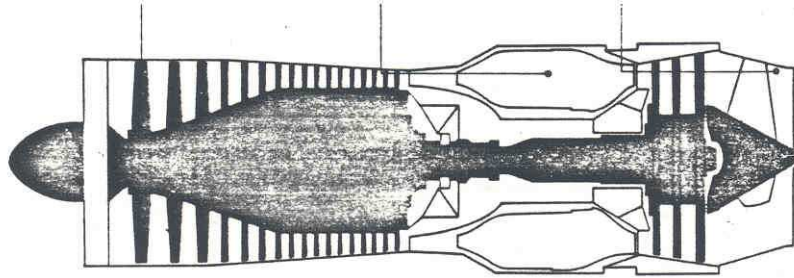
MOTIVAZIONI ALLA MISURA DEL RUMORE AERONAUTICO

Produrre motori meno rumorosi

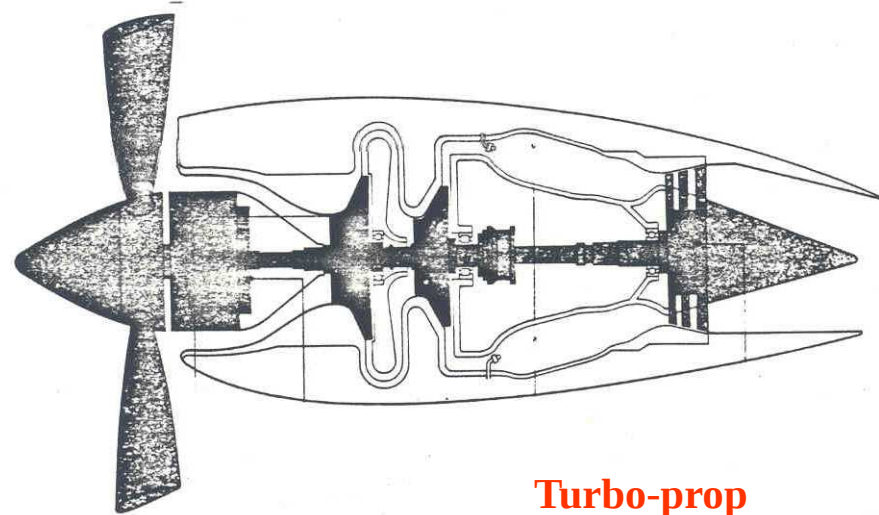
Verifica delle condizioni reali di disturbo

Zonizzazione del territorio

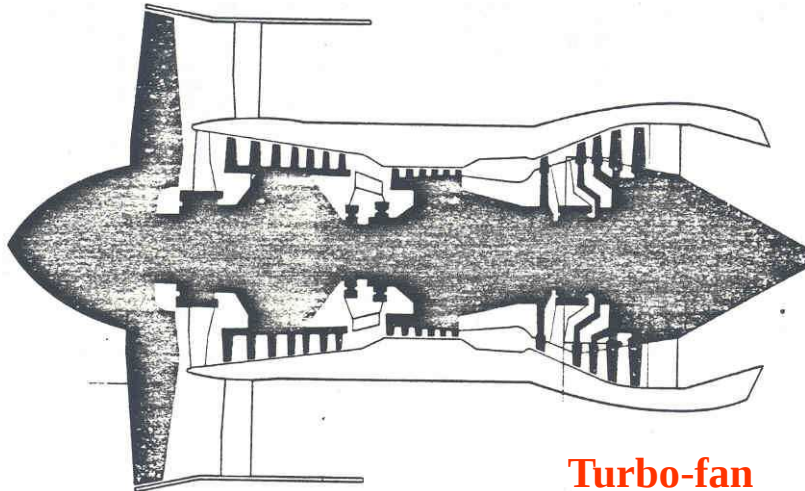
Genesi del rumore aeronautico (1)



Turbojet

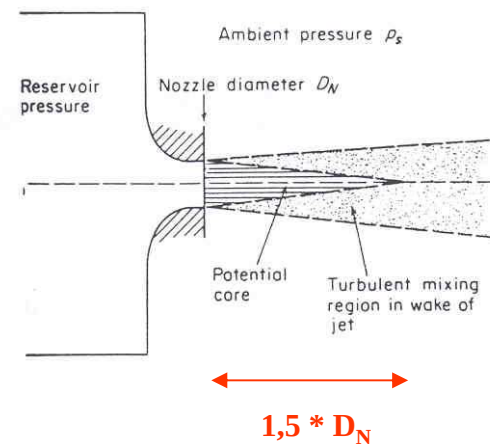
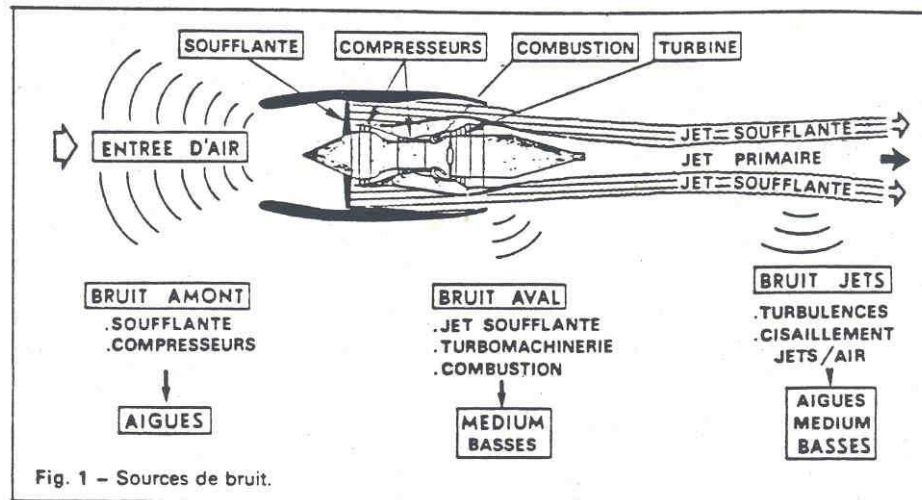


Turbo-prop

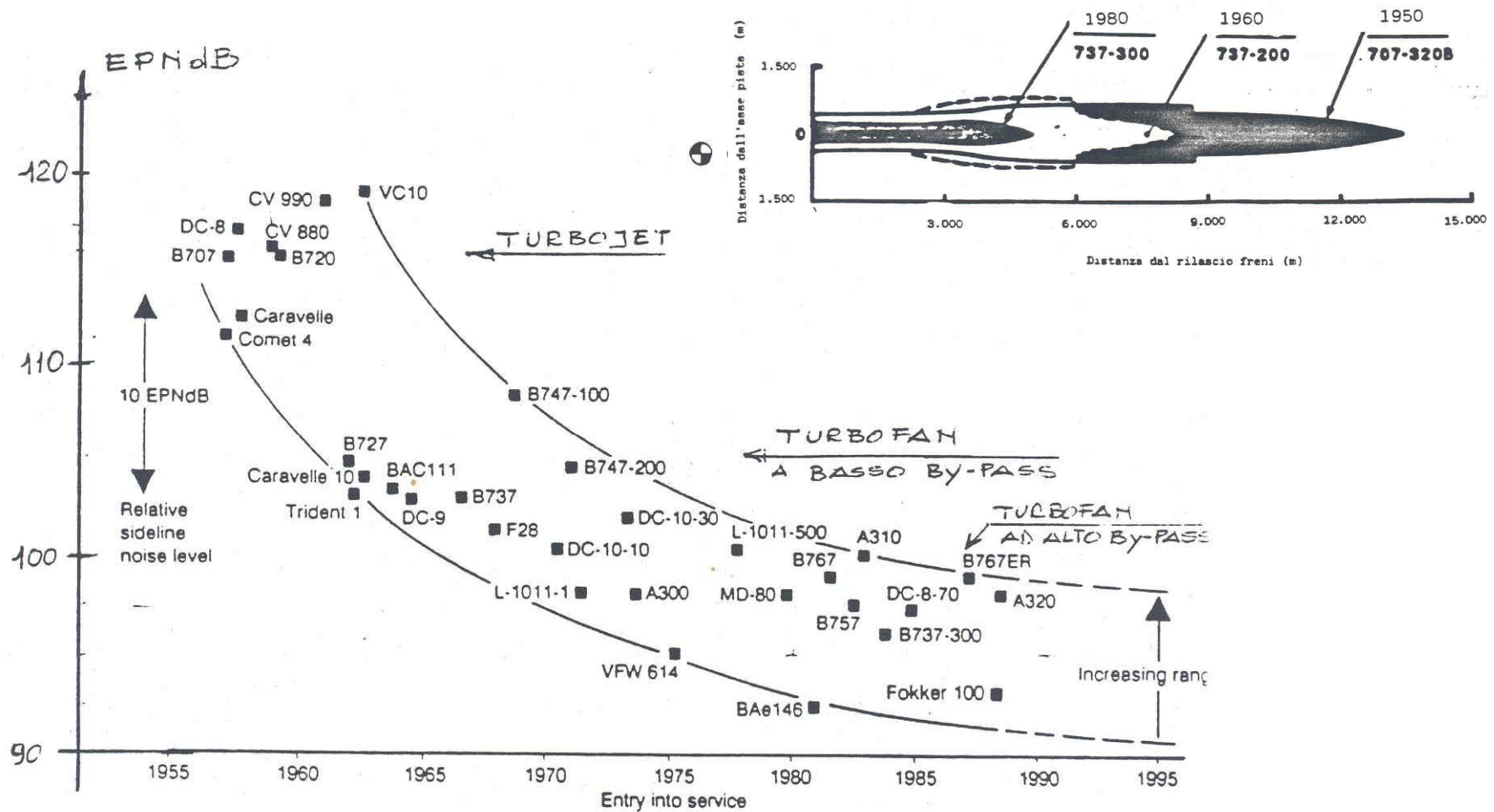


Turbo-fan

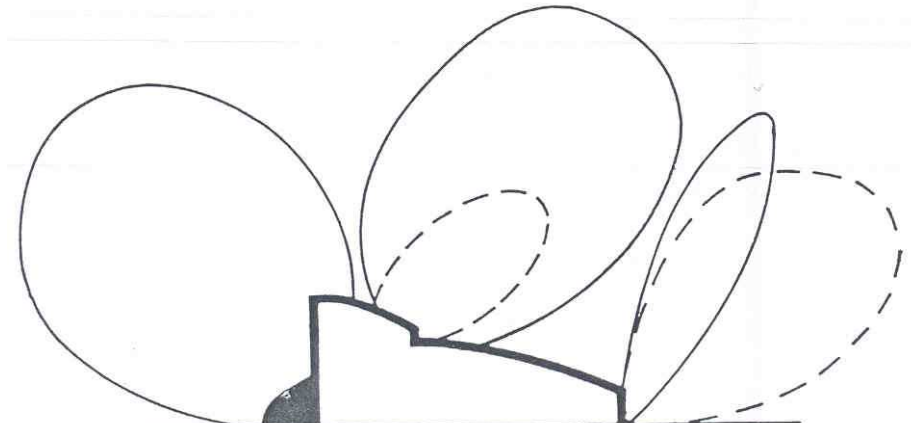
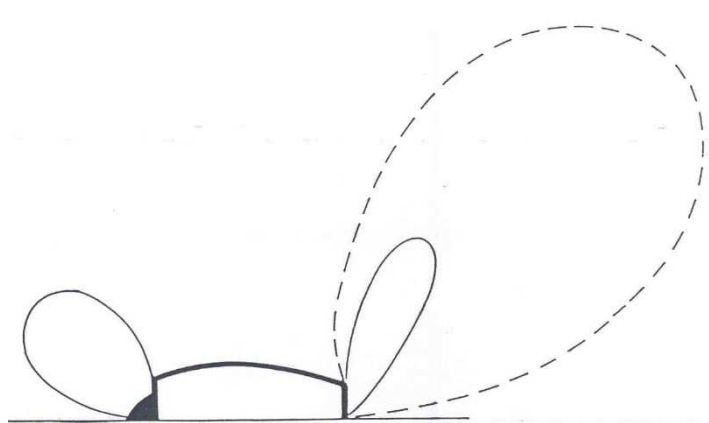
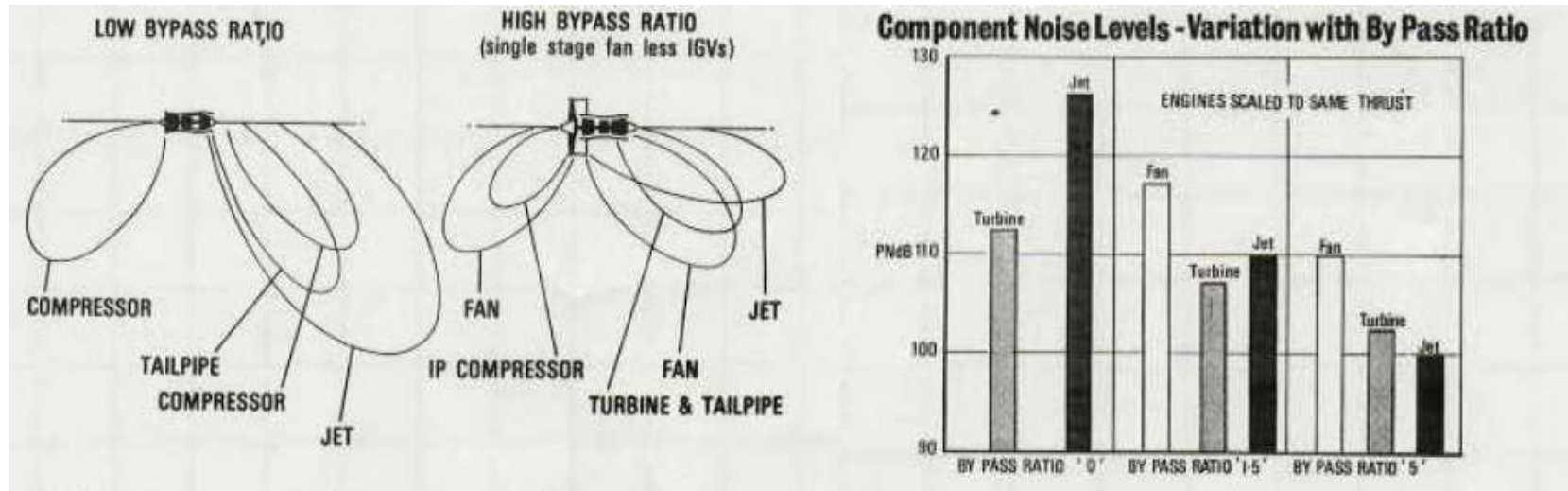
Genesi del rumore aeronautico (2)



Genesi del rumore aeronautico (3)



Genesi del rumore aeronautico (4)

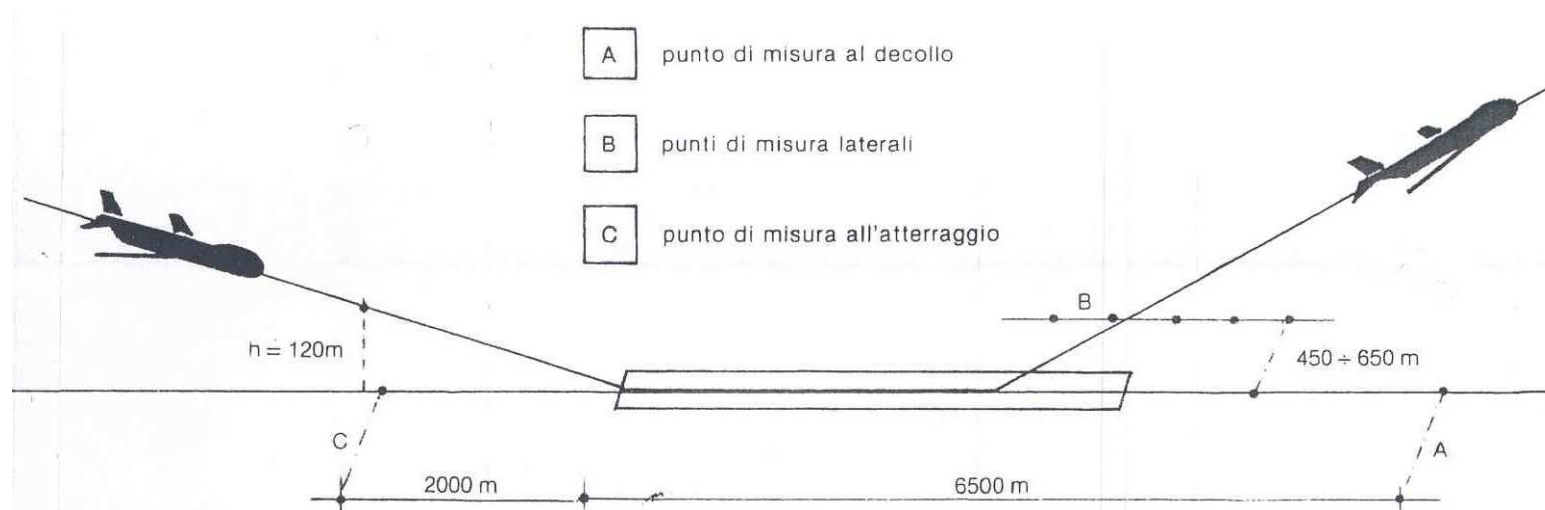


Normativa ICAO (1)

- **1968:** risoluzione ICAO A16-3 di Buenos Aires (gli stati membri dell'ICAO decidono di limitare il rumore aereo alla fonte istituendo la certificazione acustica degli aerei);
- **1971:** Prima edizione dell'Annesso 16 (procedure di certificazione degli aeromobili);
- **1977:** Seconda edizione dell'annesso 16 (Cap. 1 disposizioni amministrative per la certificazione acustica degli aeromobili, necessità di possedere la certificazione acustica per aerei con certificato di navigazione posteriore al 1/1/1969; Cap. 2 disposizioni per gli aerei con certificato di navigazione precedente 6/10/1977; Cap. 3 disposizioni per gli aerei con certificato di navigazione posteriore al 6/10/1977);
- **1980:** Risoluzione ICAO A23-10 (direttiva UE 80/51) (si vieta l'iscrizione ai registri aeronautici degli stati membri gli aerei con CN anteriore al 1/1/1969, totale cancellazione dei medesimi entro il 1986);
- **1983** Terza edizione dell'annesso 16 (miglioramento delle procedure di certificazione)
- **1990:** Risoluzione ICAO A28-3 che prevede la graduale eliminazione anche degli aeromobili del cap. 2, tra il 1995 ed il 2002;
- **2001:** Risoluzione ICAO A33-7 che prevede una nuova certificazione (cap. 4 annesso 16) dal 2006. Non fissa una data per l'eliminazione degli aerei del capitolo 3.
- **2005** Quarta edizione dell'annesso 16 (procedure di correzione per il rumore ambientale)
- **2008** Quinta edizione dell'annesso 16 (diverse modifiche)

Normativa ICAO (2)

1977: modifica dell'annesso 16 (Cap. 1 disposizioni amministrative per la certificazione acustica degli aeromobili, necessità di possedere la certificazione acustica per aerei con certificato di navigazione posteriore al 1/1/1969; Cap. 2 Aerei con certificato di navigazione precedente 6/10/1977 – nei punti B e C da 108 a 102 EPNdB, nel punto A da 108 a 93 in funzione del peso dell'aereo; Cap. 3 aerei con certificato di navigazione posteriore al 6/10/1977 nel punto B da 103 a 94 EPNdB, nel punto A da 106 a 89, nel punto C da 105 a 98);



Normativa ICAO (3)

ICAO Annesso 16 Parte I - Environmental protection (Rumore e Emissioni)

ICAO DOC 9829-AN/451

ICAO DOC 9184- AN/902

ICAO Circular 205 – AN/1/25 (Recommended method for computing noise contours around airports)

Normativa EUROPEA (1)

ECAC:

DOC 29, Vol. I - II (Report on standard method of computing noise contours around civil airports)

DIRETTIVE U.E.:

- 80/51 DEL 20/12/ 80/51 DEL 20/12/1979
- 83/206 DEL 21/4/ 83/206 DEL 21/4/1983
- 89/629 DEL 4/12/ 89/629 DEL 4/12/1989
- 92/14 DEL 2/5/ 92/14 DEL 2/5/1992
- 2002/30/CE DEL 26/3/2002
- 2002/49/CE del 25/6/2002

RACCOMANDAZIONE 2003/613/CE DEL 6/8/2003 concernente le linee guida relative ai metodi di calcolo aggiornati per il rumore dell'attività industriale, degli aeromobili, del traffico veicolare e ferroviario e i relativi dati di rumorosità

Legislazione italiana (1)

- 9 giugno 1973: Circolare del Ministero dei Trasporti (adozione dell'indice WECPNL, Weighted Equivalent Continuous Percived Noise);
- 13 maggio 1983: Legge n. 213 (necessità della certificazione acustica degli aeromobili);
- 3 dicembre 1983: Decreto Ministero dei Trasporti (recepimento direttive europee 80/51 e 83/206 sulla limitazione delle emissioni sonore degli aeromobili);
- 10 agosto 1988: DPCM n. 377 (norme tecniche per la compatibilità ambientale);
- 1 marzo 1989: DPCM (limiti massimi di esposizione al rumore);
- 19 dicembre 1994: Decreto del ministero dei trasporti e navigazione (Disposizioni sulla limitazione delle emissioni sonore dei velivoli subsonici a reazione in conformità del programma di azione della CEE in materia ambientale.
- 28 marzo 1995: Decreto Ministero dei trasporti e navigazione (Attuazione della direttiva CEE 92/14 in tema di limitazione delle emissioni sonore dei velivoli subsonici a reazione);
- 26 ottobre 1995: Legge n. 447 (legge quadro sull'inquinamento acustico) - necessità di predisporre la documentazione di impatto acustico per alcune tipologie di infrastrutture tra cui gli aeroporti;

Legislazione italiana (2)

- **31 ottobre 1997: Decreto Ministero dell'ambiente (Metodologia di misura del rumore aeroportuale) – art. 3 stabilisce l'indice di valutazione del rumore aeroportuale (L_{VA}), definisce le zone in vicinanza degli aeroporti in relazione a L_{VA} , inoltre stabilisce le attività possibile nelle zone;**
- **11 dicembre 1997: DPR n. 496 (Regolamento riduzione inquinamento acustico prodotto dagli aeromobili civili);**
- **16 marzo 1998 Decreto Ministero dell'Ambiente :Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico;**
- **20 maggio 1999: Decreto Ministero dell'Ambiente (Criteri per la progettazione dei sistemi di monitoraggio per il controllo dei livelli di inquinamento acustico in prossimità degli aeroporti nonché criteri per la classificazione degli aeroporti in relazione al livello di inquinamento acustico);**
- **9 novembre 1999: DPR n. 476 (divieto di voli notturni – modificazioni DPR 496/1997);**
- **3 dicembre 1999; Decreto Ministero dell'Ambiente (Procedure antirumore e zone di rispetto degli aeroporti);**

Legislazione italiana (3)

- 29 novembre 2000 Decreto Ministero dell'ambiente: Criteri per la predisposizione da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore
- Decreto Legislativo 17 gennaio 2005, N 13: Attuazione della direttiva 2002/30/CE relativa all'introduzione di restrizioni operative ai fini del contenimento del rumore negli aeroporti comunitari.
- Decreto Legislativo 19 agosto 2005, N 194 : Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale.

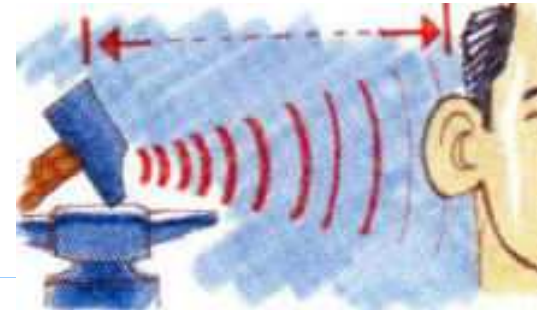
Legislazione italiana (4)

 CIRCOLARE		
SERIE AEROPORTI	Data: 3/7/2007	APT-26
Oggetto: Contenimento dell'inquinamento acustico nell'intorno aeroportuale		

 CIRCOLARE		
SERIE AEROPORTI	Data: 29/2/2008	APT- 29
Oggetto: Adozione del concetto di approccio equilibrato ai fini del contenimento del rumore negli aeroporti		

Danno disturbo e fastidio da rumore

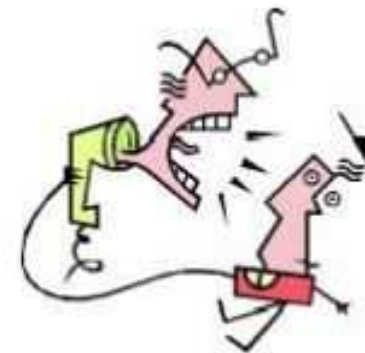
DANNO: qualsiasi alterazione non reversibile, o parzialmente non reversibile, che si possa rilevare dal punto di vista clinico.



DISTURBO: qualsiasi alterazione temporanea delle condizioni psico-fisiche che si possa oggettivamente rilevare attraverso effetti fisiopatologici.



FASTIDIO (annoyance): sentimento di scontentezza riferito al rumore che l'individuo sa o crede che possa agire su di lui in modo negati; questo fastidio è la risposta soggettiva agli effetti combinati dello stimolo disturbante e di altre fattori extra-esposizionali di natura psicologica, sociologica ed economica.



Fattori che condizionano l'impatto acustico

PRIMARI

Pressione sonora

Tempo di esposizione

Frequenza di emissione

SECONDARI

Componenti impulsive

Modalità di emissione

Mascheramento

Tempo di recupero

Intervalli di riferimento

Componenti tonali

Composizione spettrale

ACCESSORI

Saturazione sensoriale

Sensibilità individuale

Controllo emissione

Atteggiamento motivazionale

Contenuto semantico

Effetto sorpresa

Identificabilità sorgente

Danni

EFFETTI UDITIVI

Innalzamento della soglia uditiva

Trauma acustico

Fatica Uditiva

Aumento dei tempi di recupero

EFFETTI VESTIBOLARI

Vertigini

Nausea

Disturbi equilibrio

Disturbi

EFFETTI NEUROLOGICI Modificazioni elettroencefalogramma, Cefalea, ec.

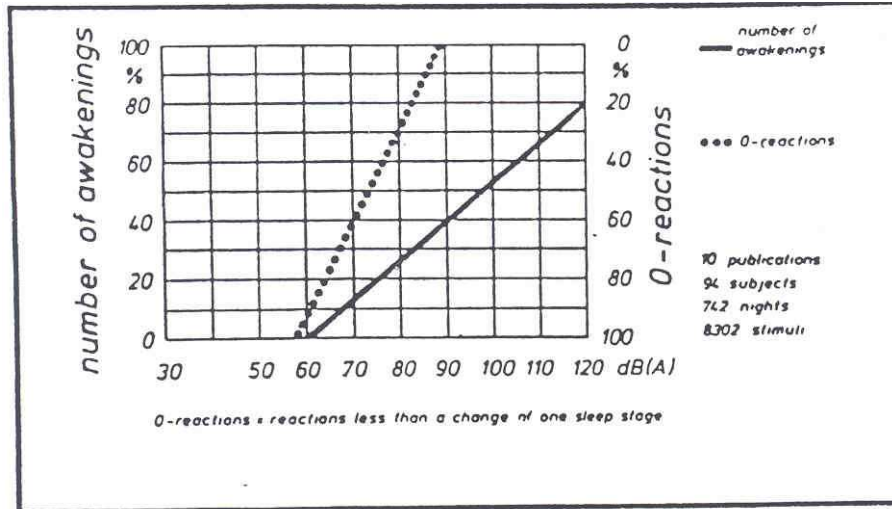
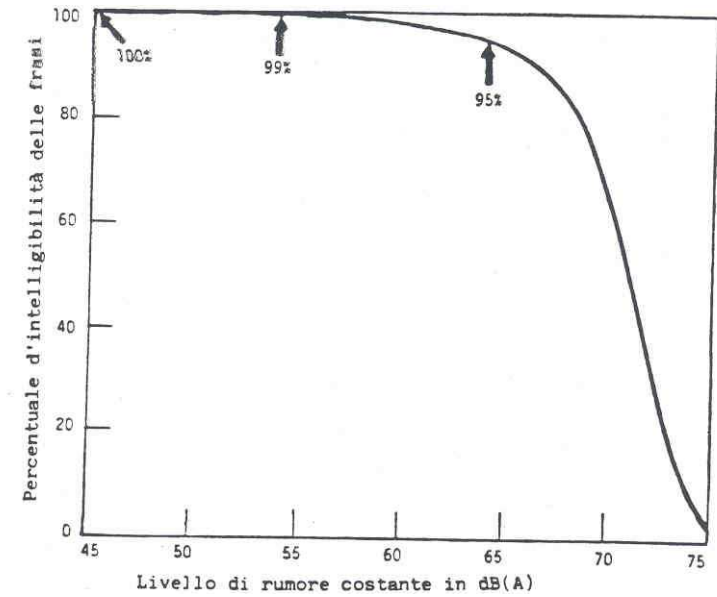
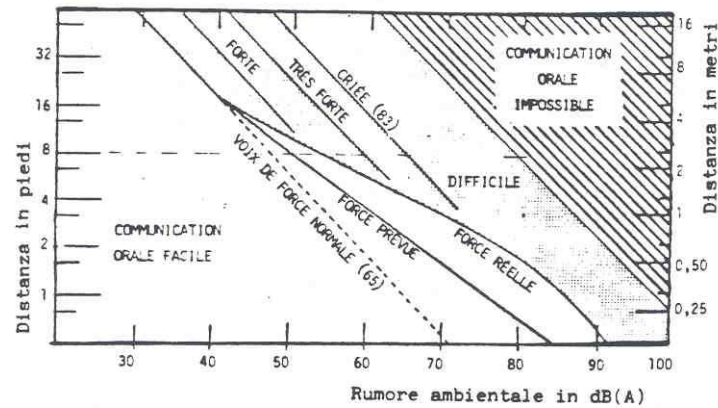
EFFETTI PSICOLOGICI Aggressività, Depressione, ecc.

EFFETTI SUL SISTEMA ENDOCRINO Iperattività di ipofisi, tiroide, ecc.

EFFETTI SUL SISTEMA CARDIOVASCOLARE Modificazione elettrocardiogramma, ecc

EFFETTI SULL'APPARATO RESPIRATORIO Aumento della frequenza respiratoria,

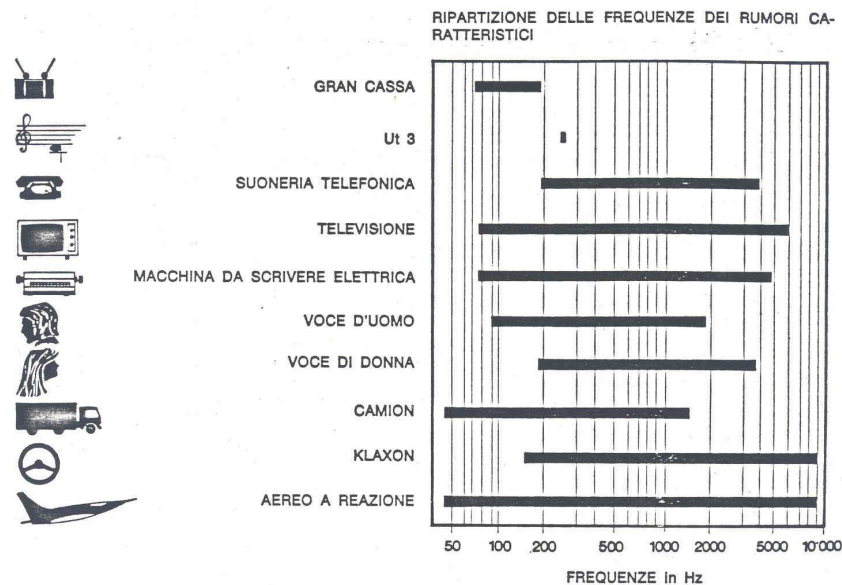
Fastidi



Il rumore aeronautico (1)

CARATTERISTICHE RUMORE AERONAUTICO

- Elevati livelli di pressione acustica;
- Ampia diffusione spettrale
- Toni puri perfettamente udibili
- Intervalli ripetuti con periodi prolungati



SORGENTI DI RUMORE E SITUAZIONE TIPICHE DI RUMOROSITÀ

dB(A)	Pericolosità	Situazioni tipiche esemplificate
116÷130	Rumore pericoloso: prevalgono aspetti specifici su quelli psichici e neurovegetativi	130 Sirena di allarme aereo 120 Rumore di aereo in zona di decollo
86÷115	Rumore che produce danno psichico e neurovegetativo, che determina effetti specifici a livello auricolare e che può indurre malattia psicosomatica	110 Musica pop 100 Martello pneumatico 90 Metropolitana, motocicletta, camion in accelerazione (a 7 metri)
66÷85	Rumore che disturba e affatica capace di provocare danno psichico e neurovegetativo ed in alcuni casi danno uditivo	80 Strada a traffico intenso 70 Abitazioni prossime ad autostrade Ufficio rumoroso
35÷65	Rumore fastidioso e molesto, che può disturbare il sonno e il riposo	60 Interno con finestra aperta su strada a traffico intenso 50 Interno con finestra chiusa su strada a traffico intenso 40 Stanza di soggiorno tranquilla
0÷35	Rumore che non arreca fastidio né danno	30 Fruscio di foglie; stanza da letto silenziosa 20 Studio di registrazione 10 Deserto 0

Il rumore aeronautico (2)

CAMPO D'AZIONE DEL RUMORE AERONAUTICO

- I. Addetti alle attività specifiche di lavoro (addetti alle manovre, meccanici, ecc.;
- II. Il personale operante nelle aere aeroportuali;
- III. I residenti nelle zone vicine all'aeroporto e quelle interessate dal sorvolo

EFFETTI DEL RUMORE AERONAUTICO SULL'UOMO

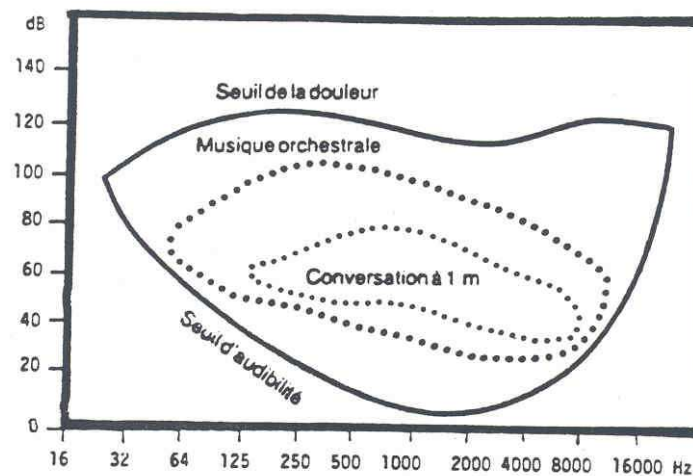
Per la I categoria effetto di tipo ledente

Per la II e III categoria si hanno effetti di tipo psicosociale (fastidi) e disturbi

Suono e rumore (1)

SUONO: è una perturbazione fisica, di carattere oscillatorio, che si propaga in un mezzo elastico con frequenza convenzionale tra 20 e 20.000 Hz (campo che corrisponde statisticamente alle frequenze udibili dall'uomo), con una ampiezza che deve essere superiore ad un determinato valore minimo (soglia di udibilità $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa).

RUMORE: identificato come un suono sgradevole o non desiderato; più scientificamente si può definire come un suono, generalmente di natura casuale, il cui spettro di frequenza non presenti regolarità distinguibili.



Caratteristiche di un onda sonora

$$x(t) = A \sin(2 \pi f t + \varphi)$$

Frequenza (f): numero di cicli nell'unità di tempo, si misura in Hertz [Hz];

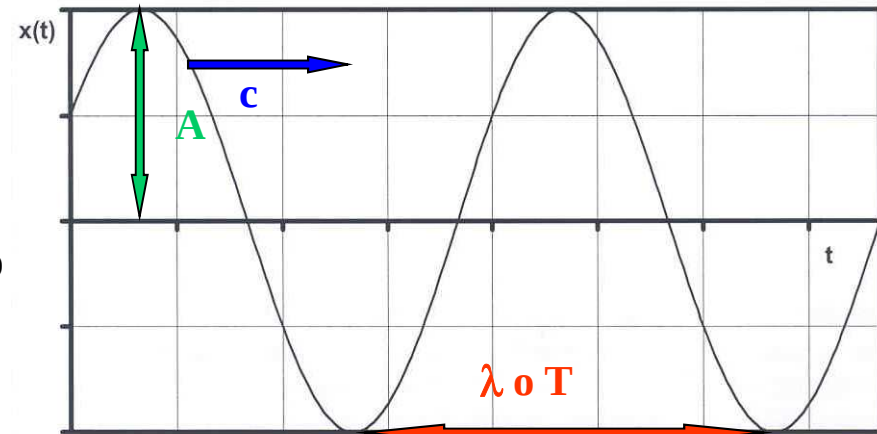
Periodo (T): tempo per completare un ciclo
 $T = 1/f$, si misura in secondi [s];

Lunghezza d'onda (λ): distanza tra due fronti d'onda aventi la stessa fase;

Ampiezza (A): valore massimo dell'onda sinusoidale;

Velocità di propagazione (c): $c = \lambda / T$;

$$c = K \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$



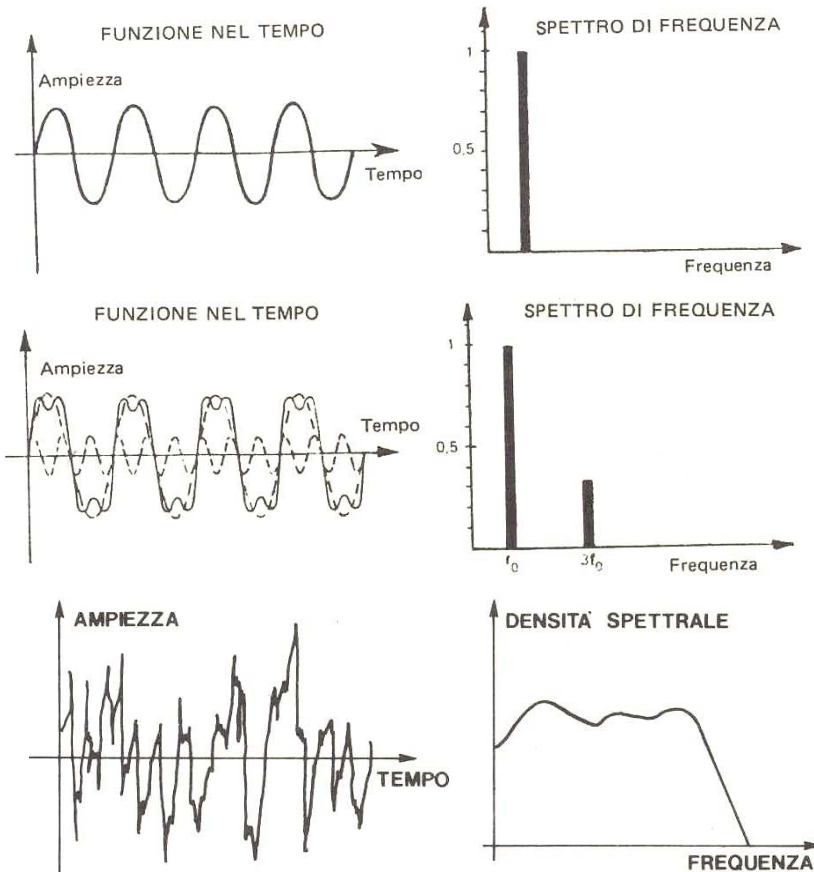
VELOCITÀ DEL SUONO NEI VARI MATERIALI

Materiale	Velocità del suono [m/s]
Aria (secca, pressione normale, 15 °C)	341
Acqua	1460
Mattoni, cemento	4000
Vetro	5000
Acciaio-alluminio	5000
Sughero	500
Gomma	40÷150
Plexiglas	1800
Piombo	1200

Pressione sonora

$$\Delta p(t) = p(t) - p_a = P \cdot \sin(2 \pi f t + \varphi)$$

Pressione sonora [Pascal]



$$f_{\text{ott.}} = \sqrt{f_1 \cdot f_2} \quad f_2 = 2 \cdot f_1$$

$$f_{1/3 \text{ ott.}} = \sqrt[3]{f_1 \cdot f_2} \quad f_2 = \sqrt[3]{2} \cdot f_1$$

Pressione potenza e intensità sonore

$$P_{eff.} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [\Delta p(t)]^2 \cdot dt} = \frac{P_{max}}{\sqrt{2}}$$

Pressione sonora efficace

$$P_{eff.} = \sqrt{\sum_n P_{eff.,n}^2}$$

$$W = 4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \frac{P_{eff.}^2}{\rho \cdot c}$$

Potenza sonora [Watt]

$$J = \frac{P_{eff.}^2}{\rho \cdot c}$$

Intensità sonora [Watt/m²]

Sensazione sonora (1)

$$\text{Cost} = \frac{\Delta J}{J} = 0,1$$

Legge di Weber

$$\Delta S = k \cdot \frac{\Delta J}{J}$$

Legge di Fechner

$$1 = 10 \cdot \frac{\Delta J}{J}$$

$$S = 10 \cdot \log \frac{J}{J_0} = 10 \cdot \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 = 20 \cdot \log \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Legge di Weber - Fechner

$$S = 20 \cdot \log \left(\frac{P}{P_0} \right) \longrightarrow L = 20 \cdot \log \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad [dB]$$

Soglia

Dolore

Udibilità

pressione sonora

200.000.000 μ Pa

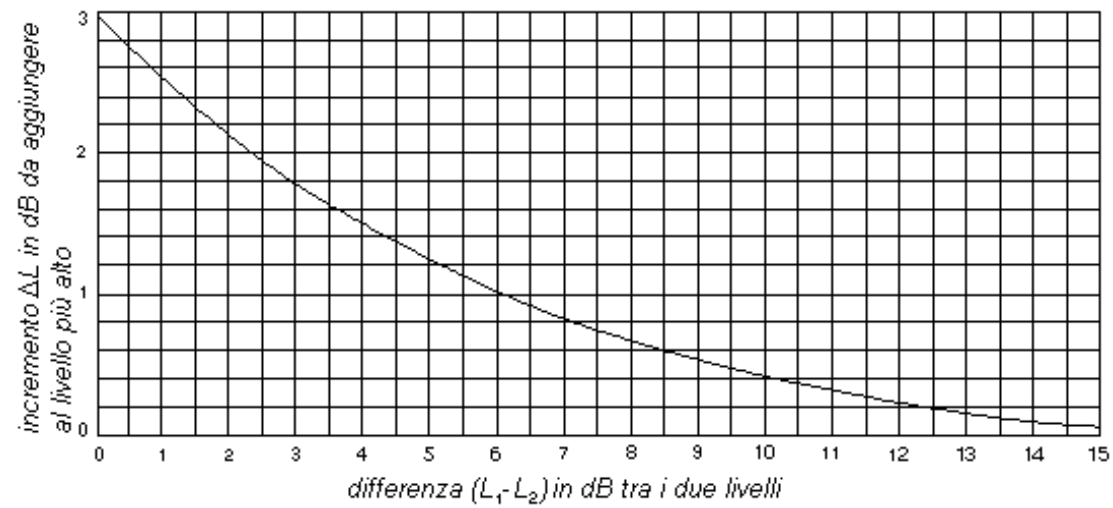
20 μ Pa

livello sonoro

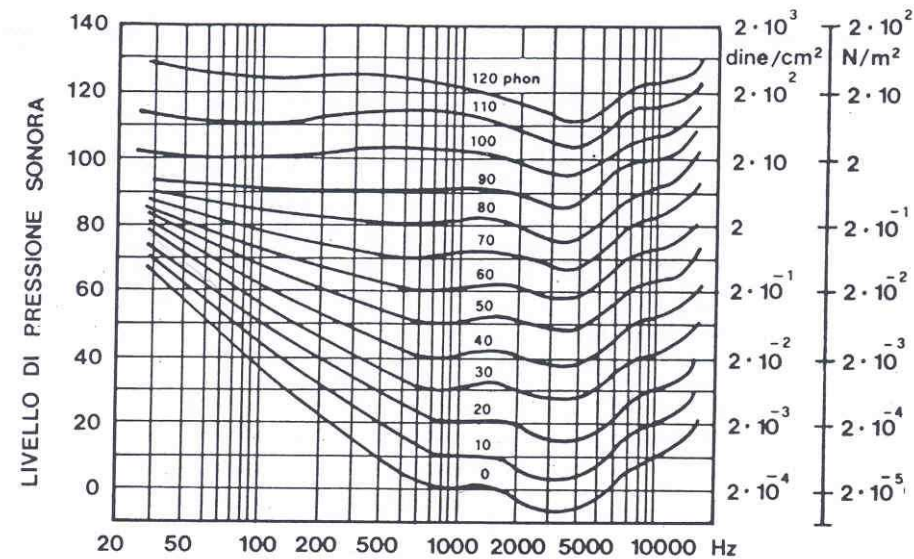
140 dB

0 dB

Sensazione sonora (2)

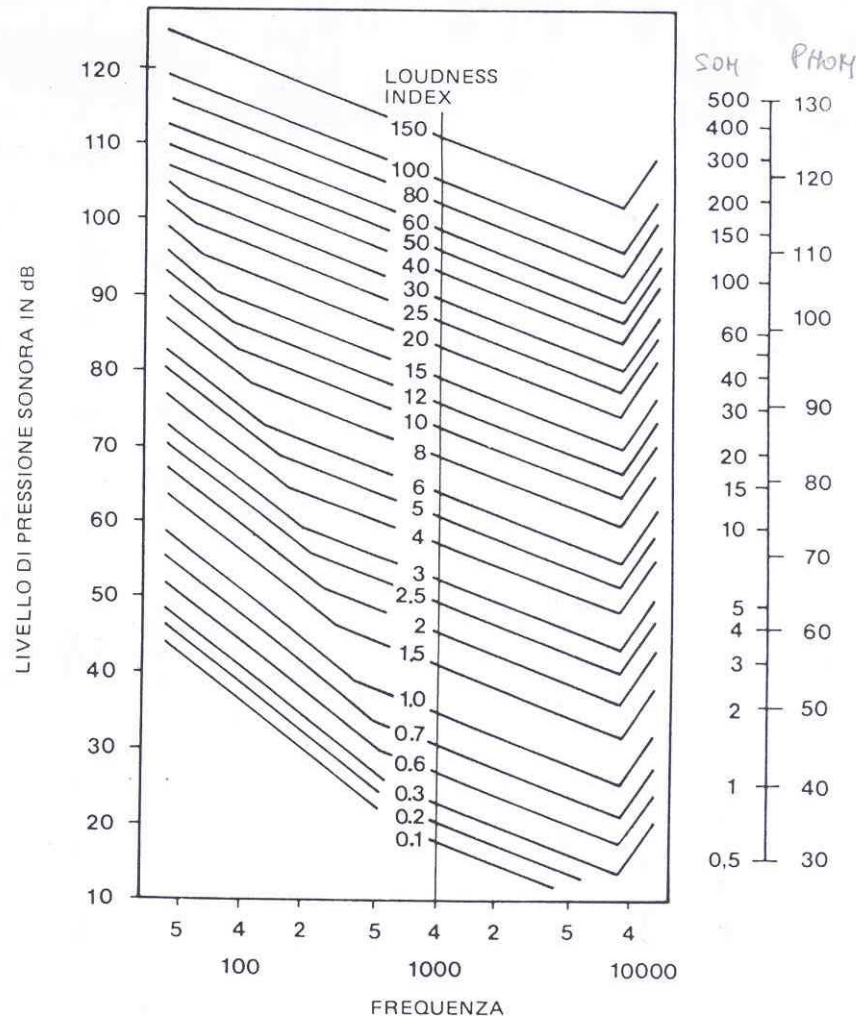


Sensazione sonora (3)



PHON: effetto acustico di un decibel alla frequenza di 1000 Hz

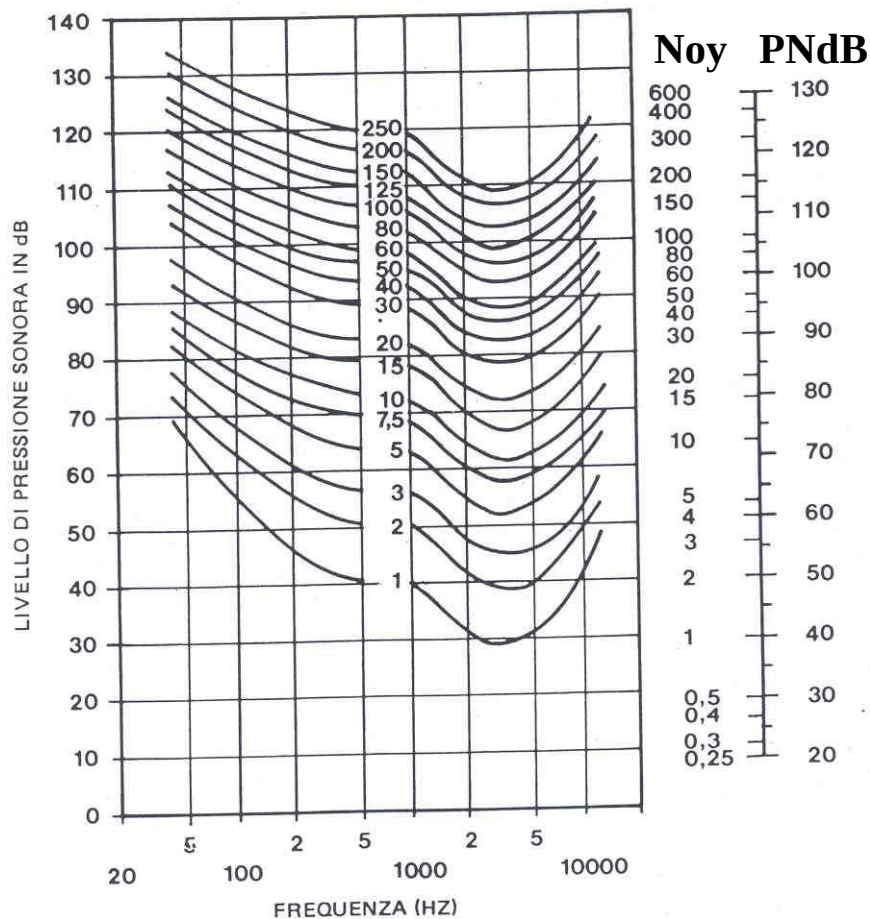
Phon e son



SON: intensità soggettiva ad un livello di 40 PHON

$$\text{PHON} = \frac{1,2 + \log(\text{SON})}{0,03}$$

La rumorosità percepita



PN = Perceived Noisiness [noy]

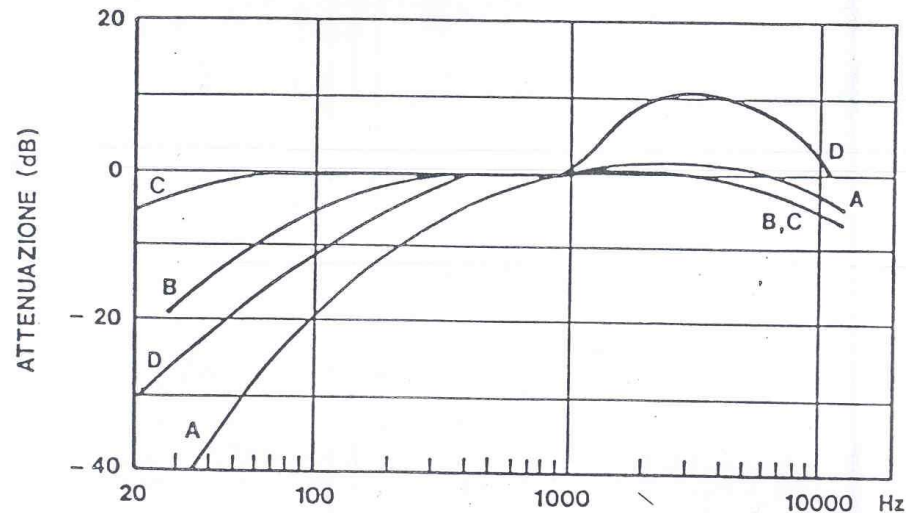
PNL = Perceived Noisiness Level [PNdB]

PNLT = Perceived Noisiness Level Tone corrected

Il noy rappresenta la rumorosità percepita (accettabilità) di un rumore aleatorio il cui livello di pressione sonora sia 40 dB e che sia compreso nella banda di 1/3 di ottava definita dalla frequenze limiti di 900 e 1120 Hz (frequenza nominale 1000 Hz)

$$\text{PNdB} = \frac{1,2 + \log(\text{noy})}{0,03}$$

Curve di ponderazione



Curva A: ponderazione a 40 phon

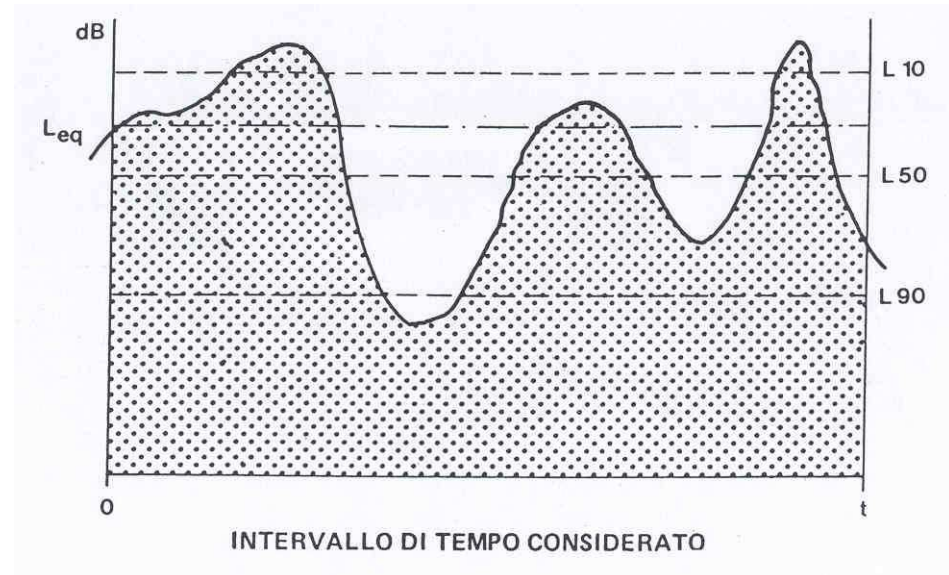
Curva B: ponderazione a 70 phon

Curva C: ponderazione a 100 phon

Curva D: ponderazione a 40 noy

Frequenza [Hz]	Curva A [dB]	Curva B [dB]	Curva C [dB]	Curva D [dB]
10	-70.4	-38.2	-14.3	-26.5
13	-63.4	-33.2	-11.2	-24.5
16	-56.7	-28.5	-8.5	-22.5
20	-50.5	-24.2	-6.2	-20.5
25	-44.7	-20.4	-4.4	-18.5
32	-39.4	-17.1	-3.0	-16.5
40	-34.6	-14.2	-2.0	-14.5
50	-30.2	-11.6	-1.3	-12.5
63	-26.2	-9.3	-0.8	-11.0
80	-22.5	-7.4	-0.5	-9.0
100	-19.1	-5.6	-0.3	-7.5
125	-16.1	-4.2	-0.2	-6.0
160	-13.4	-3.0	-0.1	-4.5
200	-10.9	-2.0	0.0	-3.0
250	-8.6	-1.3	0.0	-2.0
315	-6.6	-0.8	0.0	-1.0
400	-4.8	-0.5	0.0	-0.5
500	-3.2	-0.3	0.0	0.0
630	-1.9	-0.1	0.0	0.0
800	-0.8	0.0	0.0	0.0
1000	0.0	0.0	0.0	0.0
1250	0.6	0.0	0.0	2.0
1600	1.0	0.0	-0.1	5.5
2000	1.2	-0.1	-0.2	8.0
2500	1.3	-0.2	-0.3	10.0
3150	1.2	-0.4	-0.5	11.0
4000	1.0	-0.7	-0.8	11.0
5000	0.5	-1.2	-1.3	10.0
6300	-0.1	-1.9	-2.0	8.5
8000	-1.1	-2.9	-3.0	6.0
10000	-2.5	-4.3	-4.4	3.0
12500	-4.3	-6.1	-6.2	0.0
16000	-6.6	-8.4	-8.5	-4.0
20000	-9.3	-11.1	-11.2	-7.5

Durata dell'evento sonoro - Leq



$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \cdot \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 \cdot dt \right] \quad [\text{dB}]$$

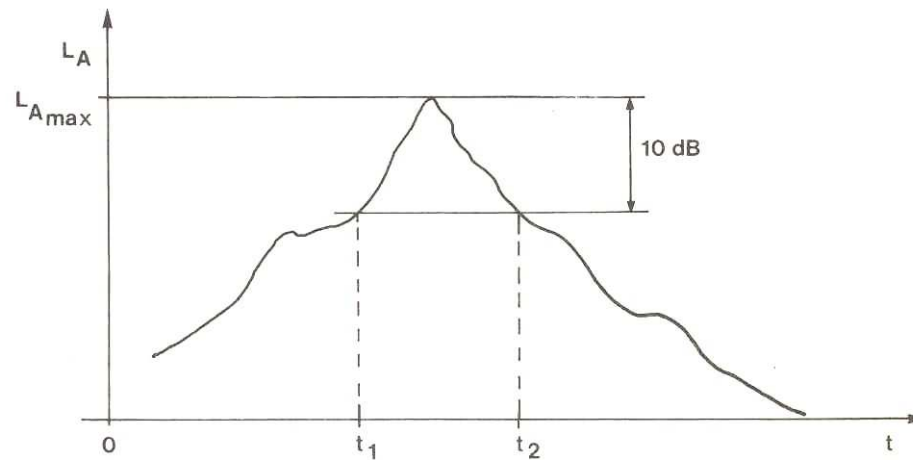
$$L_{A,eq} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \cdot \int_0^T 10^{0,1 \cdot L_A(t)} \cdot dt \right] \quad [dBA]$$

Durata dell'evento sonoro - SEL

$$\text{SEL} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{t_0} \cdot \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1 \cdot L_A(t)} \cdot dt \right] \quad [\text{dBA}] \quad \text{Single Event Level}$$

t_0 = tempo convenzionale di 1 s

t_1 e t_2 estremi dell' intervallo di tempo per cui $L(A) > L(A)_{\text{max}} - 10 \text{ dBA}$

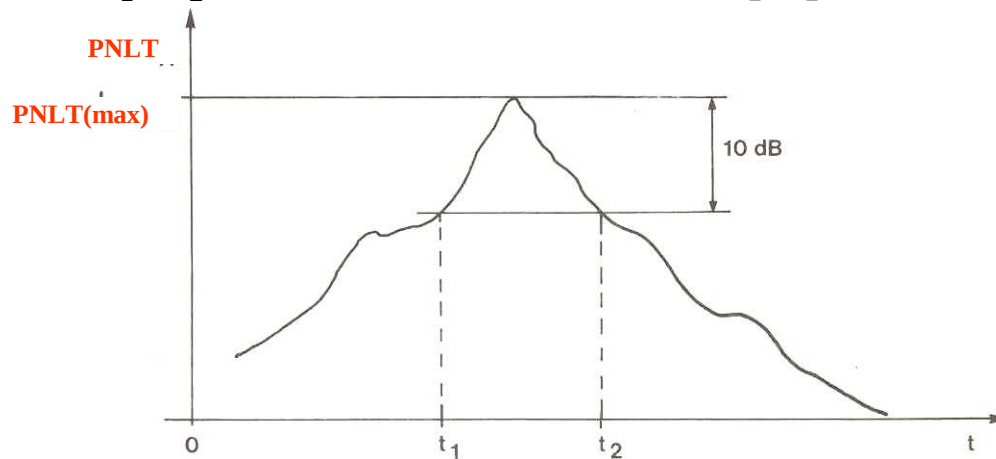


Durata dell'evento sonoro - EPNL

$$\text{EPNL} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T_0} \cdot \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1 \cdot \text{PNLT}(t)} \cdot dt \right] \quad [\text{EPNdB}] \quad \text{Effective perceived noise Level}$$

T_0 = tempo convenzionale di 10 s

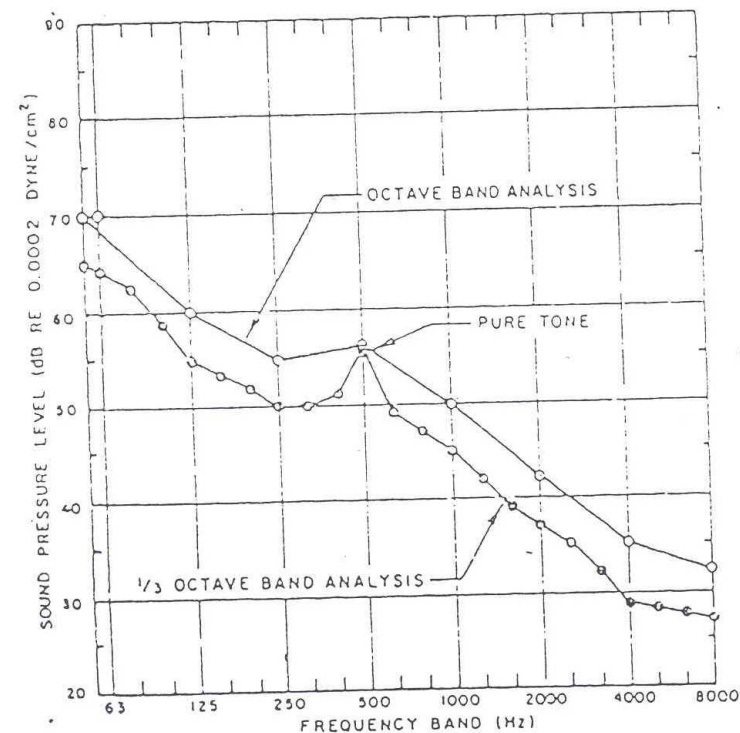
t_1 e t_2 estremi dell' intervallo di tempo per cui $\text{PNLT} > \text{PNLT}_{\text{max}} - 10 \text{ PNdB}$



$$\text{PNLT} = \text{PNL} + C$$

$$\text{PNLT} \approx L(A) + 13$$

$$\text{EPNL} \approx \text{SEL} + 3$$



Calcolo dell'EPNL (1)

Table 1-1. Noys as a function of sound pressure level ($29 < \text{SPL} < 89$)

1. Misura del livello di pressione sonora (SPL) in dB per “i” bande di frequenza e “k” momenti successivi.
2. Ciascun livello di pressione sonora viene trasformato in rumorosità percepita, in noys, $n(i,k)$ alla frequenza i-esima e nel momento k-esimo misurato.

SPL (dB)	One-third octave band centre frequencies (Hz)																	
	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
29																	1.00	1.00
30																	1.00	1.07
31																	1.07	1.15
32																	1.15	1.23
33																	1.23	1.32
34																1.00	1.15	1.32
35																1.07	1.23	1.41
36																1.15	1.32	1.51
37																1.23	1.41	1.62
38															1.00	1.32	1.51	1.74
39															1.07	1.41	1.62	1.86
40															1.15	1.51	1.74	1.99
41															1.23	1.62	1.86	2.14
42															1.32	1.74	1.99	2.29
43															1.41	1.86	2.14	2.45
44															1.51	1.99	2.29	2.63
45															1.62	2.14	2.45	2.81
46															1.74	2.29	2.63	3.02
47															1.86	2.45	2.81	3.23
48															2.00	2.63	3.02	3.46
49															2.14	2.81	3.23	3.71
50															2.29	2.99	3.46	3.97
51															2.45	3.02	3.59	4.26
52															2.63	3.23	3.81	4.56
53															2.81	3.46	4.09	4.89
54															3.02	3.71	4.38	5.24
55															3.23	3.97	4.68	5.61
56															3.46	4.26	5.00	5.94
57															3.71	4.56	5.35	6.39
58															4.00	4.89	5.74	6.88
59															4.26	5.24	6.19	7.44
60															4.56	5.61	6.64	8.09
61															4.89	6.00	7.14	8.74
62															5.24	6.44	7.68	9.44
63															5.61	6.94	8.29	10.24
64															6.00	7.39	8.84	11.14
65															6.44	7.94	9.49	12.14
66															6.94	8.49	10.14	13.24
67															7.44	9.09	10.84	14.44
68															8.00	9.74	11.59	15.74
69															8.59	10.44	12.39	17.14
70															9.19	11.14	13.14	18.64
71															9.84	11.84	13.94	20.24
72															10.54	12.64	14.74	21.94
73															11.24	13.44	15.64	23.74
74															12.04	14.24	16.54	25.64
75															12.84	15.04	17.44	27.64
76															13.74	15.84	18.34	29.74
77															14.64	16.74	19.24	31.94
78															15.54	17.64	20.14	34.24
79															16.54	18.64	21.14	36.64
80															17.54	19.64	22.14	39.14
81															18.64	20.64	23.14	41.74
82															19.74	21.64	24.14	44.44
83															20.84	22.64	25.14	47.24
84															22.04	23.64	26.14	50.14
85															23.24	24.64	27.14	53.14
86															24.54	25.64	28.14	56.24
87															25.84	26.64	29.14	59.44
88															27.14	27.64	30.14	62.74
89															28.54	28.64	31.14	66.14



N.G.T.E. 22 NOV. 1967

Calcolo dell'EPNL (3)

3. Calcolo della rumorosità percepita totale $N(k)$ per ciascun momento “k” combinando tutti i valori relativi alle varie frequenze $n(i,k)$; si utilizza la formula di STEVENS, $n(k)$ è il valore più alto degli $n(i,k)$.

$$N(k) = 0,85 \cdot n(k) + 0,15 \cdot \sum_{i=1}^{24} n(i,k)$$

4. Convertire il valore $N(k)$ nel livello di rumore percepito $PNL(k)$ al momento k

$$PNL(k) = \frac{1,2 + \log(noy)}{0,03} = 40 + 33,3 \cdot \log[N(k)] \quad [PNdB]$$

Calcolo dell'EPNL (4)

5. Correggere il valore PNL(k) per tener conto delle reazioni soggettive alla presenza di toni puri.

$$\text{PNLT}(k) = \text{PNL}(k) + C(k)$$

Calcolo di C(k):

Colonna 4

$$S(i,k) = \text{SPL}(i,k) - \text{SPL}(i-1,k)$$

Colonna 5

$$|\Delta S(i,k)| = |S(i,k) - S(i-1,k)| > 5$$

Colonna 6

per i valori non cerchiati: $\text{SPL}(i,k)' = \text{SPL}(i,k)$

per i valori cerchiati:

$$\text{SPL}(i,k)' = 0,5 * [\text{SPL}(i-1,k) + \text{SPL}(i+1,k)]$$

$$\text{SPL}(24,k)' = \text{SPL}(23,k) + S(23,k)$$

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
Band (i)	f Hz	SPL dB	S dB Step 1	1ΔS1 dB Step 2	SPL' dB Step 4	S' dB Step 5	S̄ dB Step 6	SPL'' dB Step 7	F dB Step 8	C dB Step 9
1	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	63	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	80	70	—	—	70	— 8	—2½	70	—	—
4	100	62	— 8	—	62	— 8	+3½	67½	—	—
5	125	70	+8	16	71	+ 9	+6½	71	—	—
6	160	80	+10	2	80	+ 9	+2½	77½	—	—
7	200	82	+2	8	82	+ 2	—1½	80½	—	—
8	250	83	+ 1	1	79	— 3	—1½	79	4	2½
9	315	76	—7	8	76	— 3	+ ½	77½	—	—
10	400	80	+4	11	78	+ 2	+1	78	—	—
11	500	80	0	4	80	+ 2	0	79	—	—
12	630	79	— 1	1	79	— 1	0	79	—	—
13	800	78	— 1	0	78	— 1	— ½	79	—	—
14	1 000	80	+ 2	3	80	+ 2	— ¾	78¾	—	—
15	1 250	78	— 2	4	78	— 2	— ½	78	—	—
16	1 600	76	— 2	0	76	— 2	+ ½	77½	—	—
17	2 000	79	+ 3	5	79	+ 3	+1	78	—	—
18	2 500	85	+ 6	3	79	0	— ½	79	6	2
19	3 150	79	—6	12	79	0	—2½	78¾	—	—
20	4 000	78	— 1	5	78	— 1	—6½	76	—	—
21	5 000	71	—7	6	71	— 7	—8	69½	—	—
22	6 300	60	—11	4	60	—11	—8½	61½	—	—
23	8 000	54	— 6	5	54	— 6	—8	53	—	—
24	10 000	45	— 9	3	45	— 9	—	45	—	—
— 9										

Calcolo dell'EPNL (5)

$$\bar{S}(i,k) = \frac{1}{3} \{S'(i,k) + S'(i+1,k) + S'(i+2,k)\}$$

$$SPL''(3,k) = SPL(3,k)$$

$$SPL''(4,k) = SPL''(3,k) + \bar{S}(3,k)$$

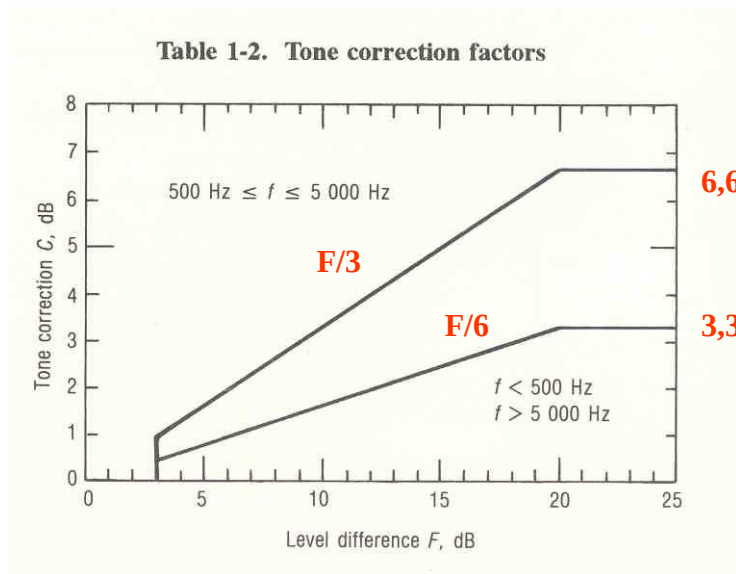
$$SPL''(i,k) = SPL''(i-1,k) + \bar{S}(i-1,k)$$

$$SPL''(24,k) = SPL''(23,k) + \bar{S}(23,k)$$

① Band (i)	② f Hz	③ SPL dB	④ S dB Step 1	⑤ 1ΔS1 dB Step 2	⑥ SPL' dB Step 4	⑦ S' dB Step 5	⑧ S̄ dB Step 6	⑨ SPL'' dB Step 7	⑩ F dB Step 8	⑪ C dB Step 9
1	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	63	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	80	70	—	—	70	- 8	-2½	70	—	—
4	100	62	- 8	—	62	- 8	+3½	67½	—	—
5	125	⑦0	+⑧	16	71	+ 9	+6½	71	—	—
6	160	80	+10	2	80	+ 9	+2½	77½	—	—
7	200	82	+②	8	82	+ 2	-1½	80½	—	—
8	250	⑧3	+ 1	1	79	- 3	-1½	79	4	½
9	315	76	-⑦	8	76	- 3	+ ½	77½	—	—
10	400	⑩0	+④	11	78	+ 2	+1	78	—	—
11	500	80	0	4	80	+ 2	0	79	—	—
12	630	79	- 1	1	79	- 1	0	79	—	—
13	800	78	- 1	0	78	- 1	- ½	79	—	—
14	1 000	80	+ 2	3	80	+ 2	- ¾	78¾	—	—
15	1 250	78	- 2	4	78	- 2	- ½	78	—	—
16	1 600	76	- 2	0	76	- 2	+ ½	77½	—	—
17	2 000	79	+ 3	5	79	+ 3	+1	78	—	—
18	2 500	⑩5	+ 6	3	79	0	- ½	79	6	2
19	3 150	79	-⑥	12	79	0	-2¾	78¾	—	—
20	4 000	78	- 1	5	78	- 1	-6½	76	—	—
21	5 000	71	-⑦	6	71	- 7	-8	69¾	—	—
22	6 300	60	-11	4	60	-11	-8¾	61¾	—	—
23	8 000	54	- 6	5	54	- 6	-8	53	—	—
24	10 000	45	- 9	3	45	- 9	—	45	—	—
- 9										

Calcolo dell'EPNL (6)

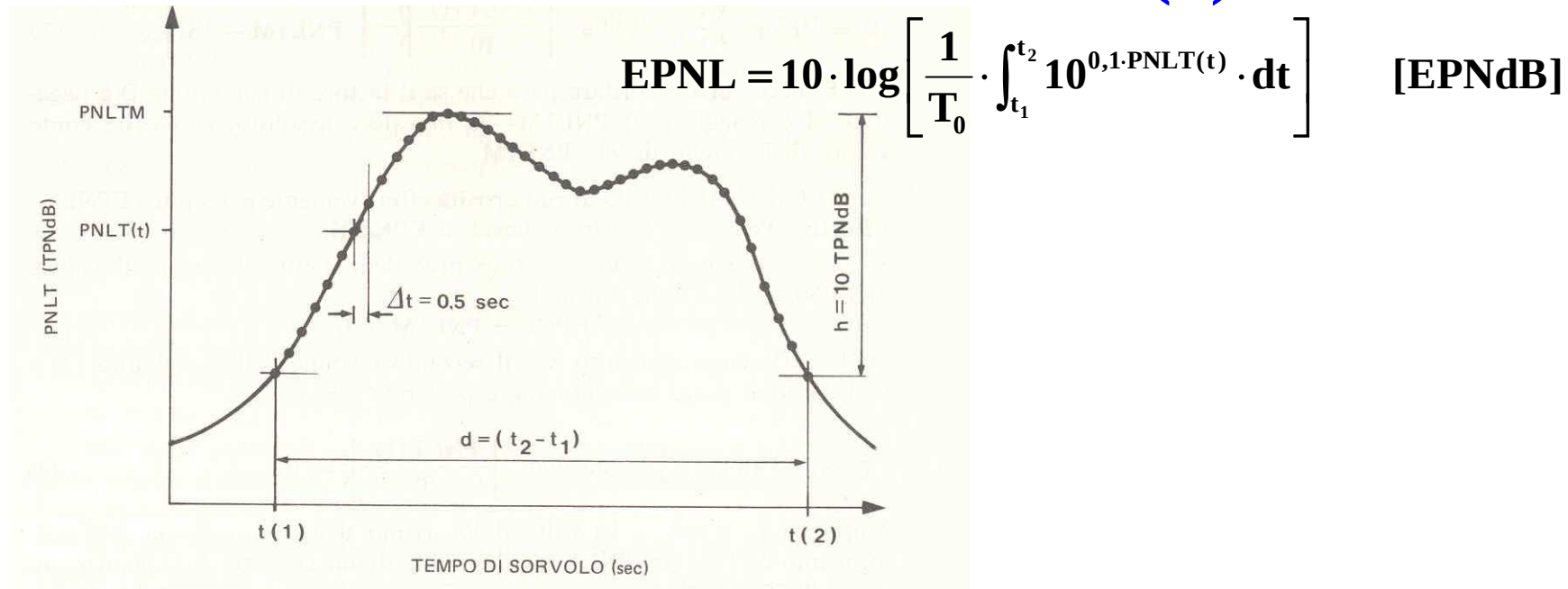
$$F(i,k) = \text{SPL}(i,k) - \text{SPL}''(i,k)$$



$$\text{PNLT}(k) = \text{PNL}(k) + C(i,k)_{\max}$$

① Band (i)	② f Hz	③ SPL dB	④ S dB Step 1	⑤ 1ΔS1 dB Step 2	⑥ SPL' dB Step 4	⑦ S' dB Step 5	⑧ S̄ dB Step 6	⑨ SPL'' dB Step 7	⑩ F dB Step 8	⑪ C dB Step 9
1	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	63	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	80	70	—	—	70	— 8	— 2½	70	—	—
4	100	62	— 8	—	62	— 8	+ 3½	67½	—	—
5	125	⑦0	+ ⑧	16	71	+ 9	+ 6½	71	—	—
6	160	80	+ 10	2	80	+ 9	+ 2½	77½	—	—
7	200	82	+ ②	8	82	+ 2	— 1½	80½	—	—
8	250	⑧3	+ 1	1	79	— 3	— 1½	79	4	½
9	315	76	— ⑦	8	76	— 3	+ ½	77½	—	—
10	400	⑧0	+ ④	11	78	+ 2	+ 1	78	—	—
11	500	80	0	4	80	+ 2	0	79	—	—
12	630	79	— 1	1	79	— 1	0	79	—	—
13	800	78	— 1	0	78	— 1	— ½	79	—	—
14	1 000	80	+ 2	3	80	+ 2	— ¾	78¾	—	—
15	1 250	78	— 2	4	78	— 2	— ½	78	—	—
16	1 600	76	— 2	0	76	— 2	+ ½	77½	—	—
17	2 000	79	+ 3	5	79	+ 3	+ 1	78	—	—
18	2 500	⑧5	+ 6	3	79	0	— ½	79	6	2
19	3 150	79	— ⑥	12	79	0	— 2¾	78¾	—	—
20	4 000	78	— 1	5	78	— 1	— 6½	76	—	—
21	5 000	71	— ⑦	6	71	— 7	— 8	69¾	—	—
22	6 300	60	— 11	4	60	— 11	— 8¾	61¾	—	—
23	8 000	54	— 6	5	54	— 6	— 8	53	—	—
24	10 000	45	— 9	3	45	— 9	—	45	—	—
— 9										

Calcolo dell'EPNL (7)



$$EPNL = PNL TM + D \cong PNL TM + 10 \cdot \log \frac{t_2 - t_1}{\tau_{rif.}} \quad [EPNdB] \quad \text{Con } \tau_{rif.} \text{ Variabile da 10 a 20 s}$$

$$D = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \cdot \sum_{k=0}^{d/\Delta t} 10^{0,1 \cdot PNL T(k)} \cdot \Delta t \right] - PNL TM \quad D = 10 \cdot \log \left[\sum_{k=0}^{2d} 10^{0,1 \cdot PNL T(k)} \right] - PNL TM - 13$$

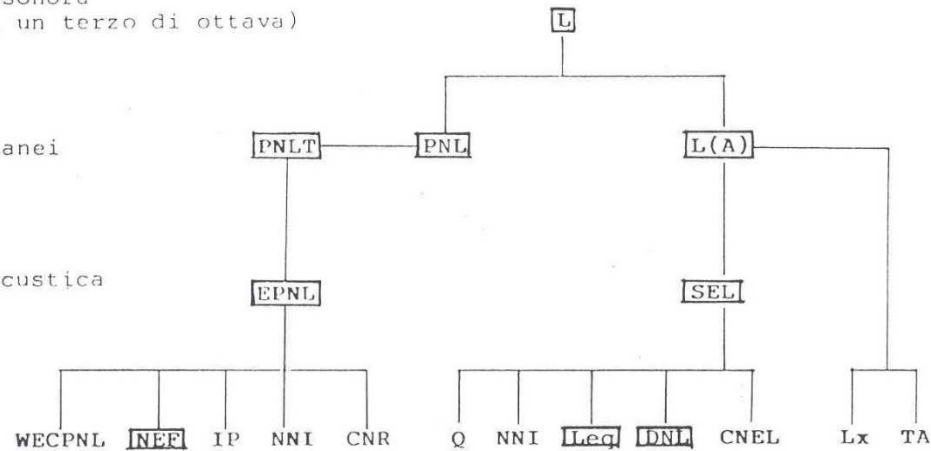
Il ripetersi di eventi sonori

Livello di pressione sonora
(analisi per bande di un terzo di ottava)

Livelli sonori istantanei

Misure dell'energia acustica
(eventi singoli)

Indici globali



Stato	Autore	Anno	Numero soggetti intervistati	Correlazione tra indice e disturbo reale	
				individuale	di gruppo
Australia	Hede	1982	3575	0.36	0.84
Australia	Bullen	1985	624	0.58	
Belgio	Jonkheere	1988	677		0.99
Canada	Hall	1980	673		0.73
Francia	Josse	1968	2000	0.53	0.91
Francia	Vallet	1986	570		0.63
Paesi Bassi	Kosten	1967	992		0.95
Paesi Bassi	Bitter	1980	376	0.17	0.68
Paesi Bassi	Dejong	1986	581	0.30	
Rep.Fed.Ger.	Rohrmann	1974	660	0.56	
Inghilterra	McKenna	1963	1731	0.46	0.99
Inghilterra	MIL	1971	4699	0.40	
Svezia	Rylander	1972	2900		0.78
Svizzera	Grandjean	1974	3939	0.56	0.91
USA	Tracor	1971	3950	0.37	
USA	Borsky	1983	942	0.58	
USA	Schomer	1983	231		0.89

Nota: Belgio e Canada adottano l'indice NEF.

NEF – Noise Exposure Forecast

$$\text{NEF}(i, j) = \text{EPNL}(i, j) + 10 \cdot \log[N(i, j)] - 88$$

“i” rappresenta il tipo di aereo, “j” rappresenta il tipo di operazione (decollo o atterraggio).

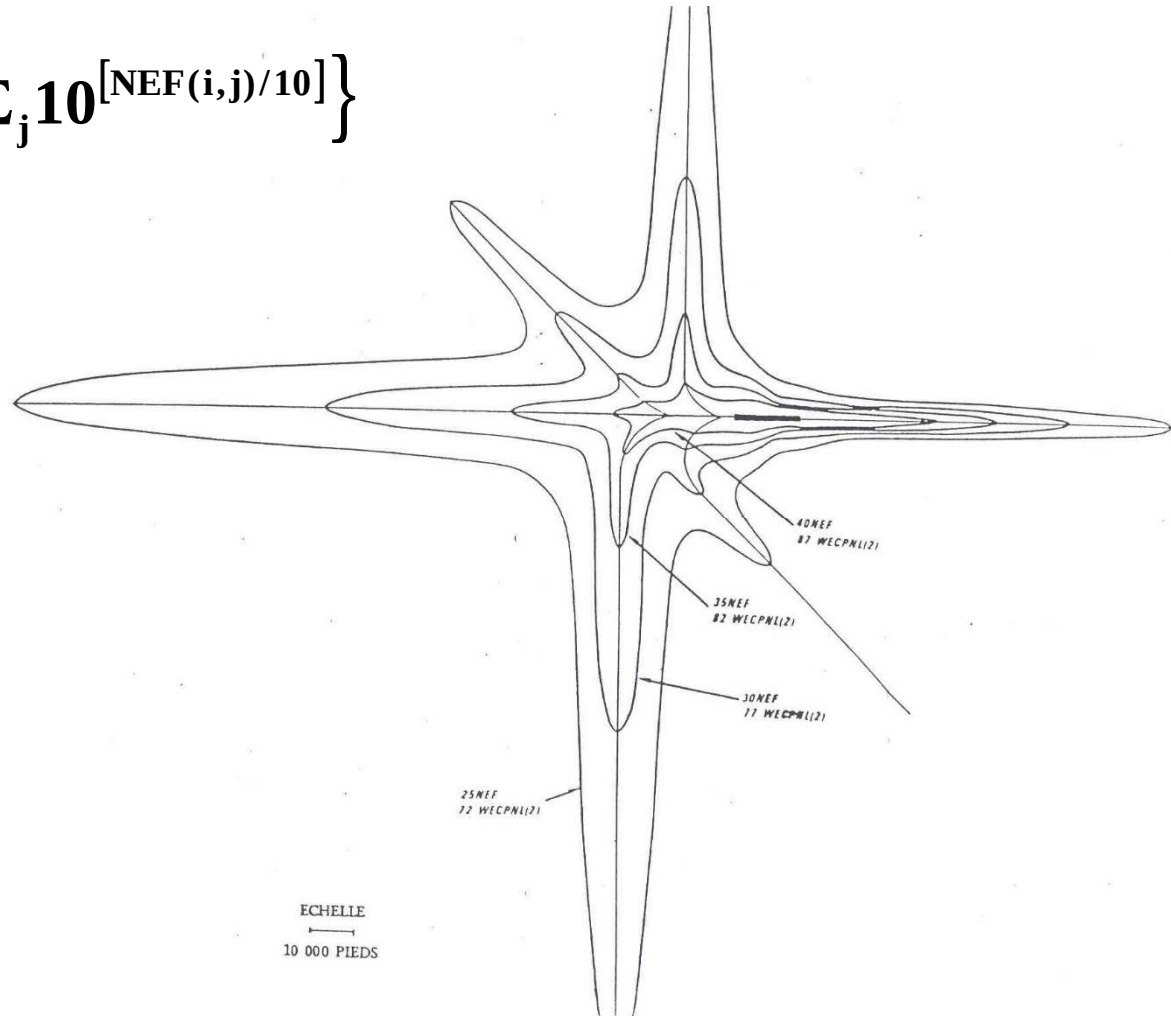
N(i,j) rappresenta il numero di una determinata operazione e di una determinata tipologia di aereo.

Si distinguono inoltre le operazioni diurne (7.00 – 22.00) da quelle notturne (22.00 – 7.00) ; queste ultime si pesano con un fattore 16,67

$$\text{NEF} = 10 \cdot \log \left\{ \sum_i \sum_j 10^{[\text{NEF}(i,j)/10]} \right\}$$

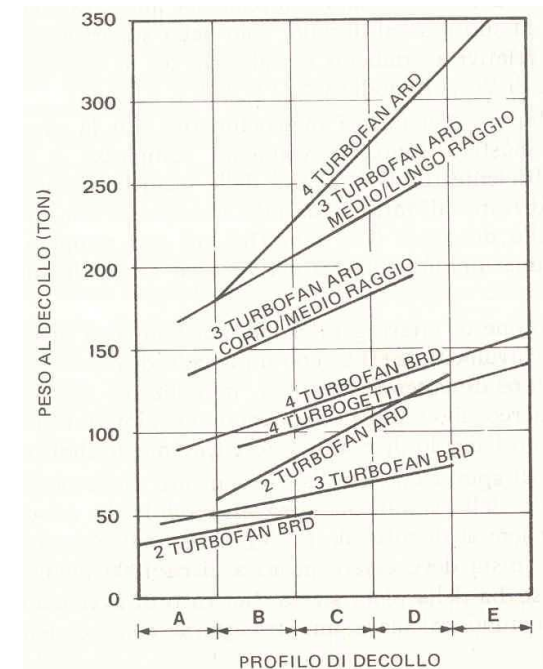
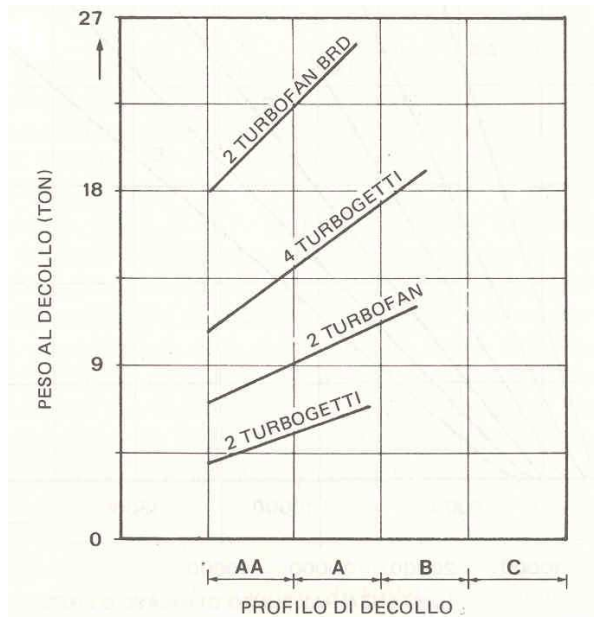
Curve isoNEF

$$\text{NEF} = 10 \cdot \log \left\{ \sum_i \sum_j 10^{[\text{NEF}(i,j)/10]} \right\}$$



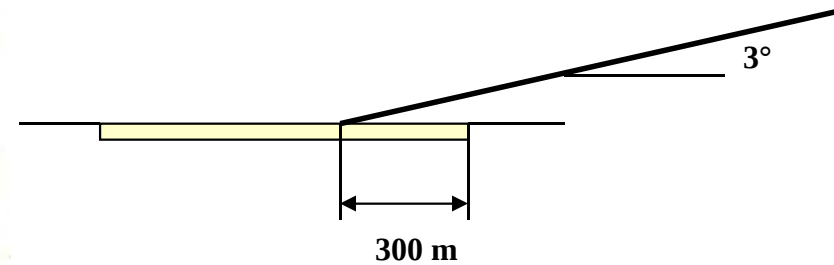
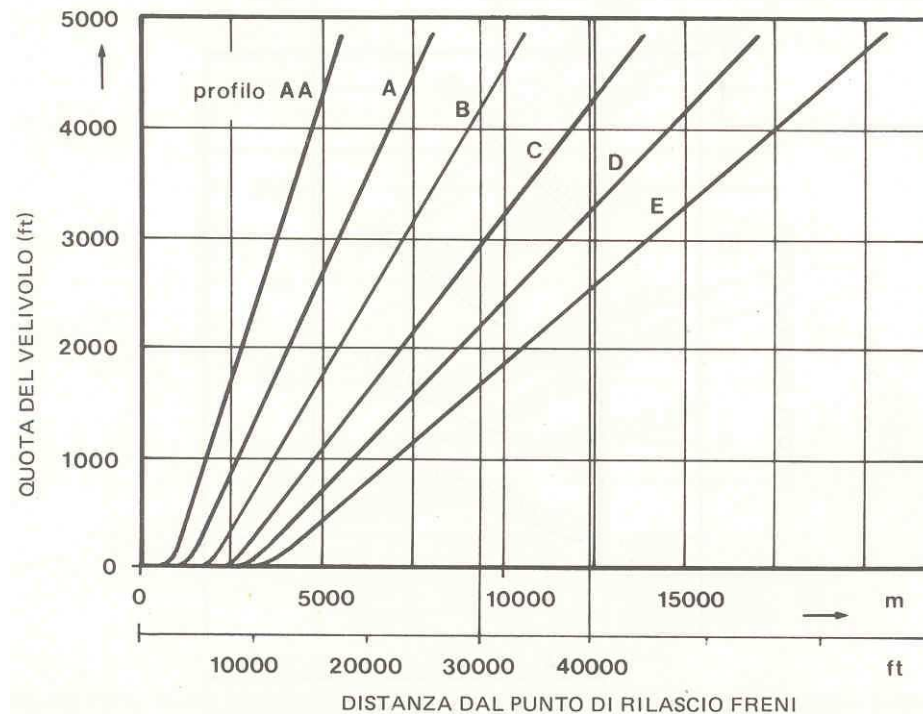
Calcolo del NEF (1)

- 1) Definire una griglia a maglia quadrata, di lato $l = 500$ m, da sovrapporre al territorio circostante l'aeroporto (i nodi della maglia individuano i punti nei quali calcolare l'indice NEF).
- 2) Sulla base della mix di traffico si individuano: tipo e numero di motori, peso al decollo di ogni aereo.
- 3) Con i dati precedenti individuare il profilo generalizzato di decollo utilizzando i diagrammi seguenti



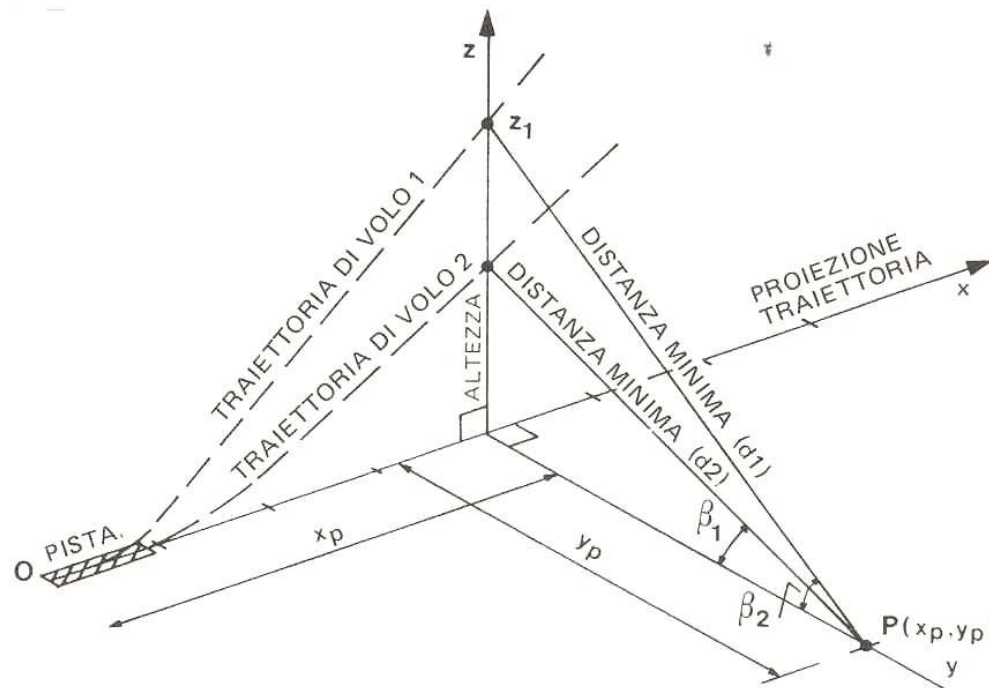
Calcolo del NEF (2)

- 4) Con il profilo generalizzato e conoscendo la distanza del punto di cui si vuole valutare il NEF dal punto di rilascio freni si determina la quota del veivolo utilizzando il diagramma seguente.
- 5) Per gli atterraggi si considera un profilo standard di avvicinamento inclinato di 3° ($\cong 5\%$) con punto di atterraggio 300 metri dopo la soglia.



Calcolo del NEF (3)

- 6) Determinare la distanza minima da qualsiasi nodo P della griglia rispetto la traiettoria degli aeromobili.



Calcolo del NEF (4)

- 7) Determinare del valore dell'EPNL in funzione della distanza minima, attraverso le seguenti tabelle.

Tipo di aerei	Distanza minima della traiettoria (in m)										
	60	100	200	300	500	700	1000	2000	3000	5000	10000
AA	129	126	122	120	110	106	102	95	92	87	82
AB	125	122	118	116	106	102	98	91	88	83	78
BA	123	119	115	113	105	102	99	92	88	82	73
BB	120	116	112	110	102	99	96	89	85	79	70
CA	121	117	113	111	103	100	97	90	86	80	71
CB	119	115	111	109	101	98	95	88	84	78	69
DA	117	114	109	106	102	98	95	88	83	74	—
DB	107	104	99	96	92	88	85	78	73	64	—
DC	120	107	112	109	105	101	98	91	86	77	—
EA	137	133	129	126	123	120	118	113	110	106	103
EB	126	123	118	115	112	109	107	102	99	95	90

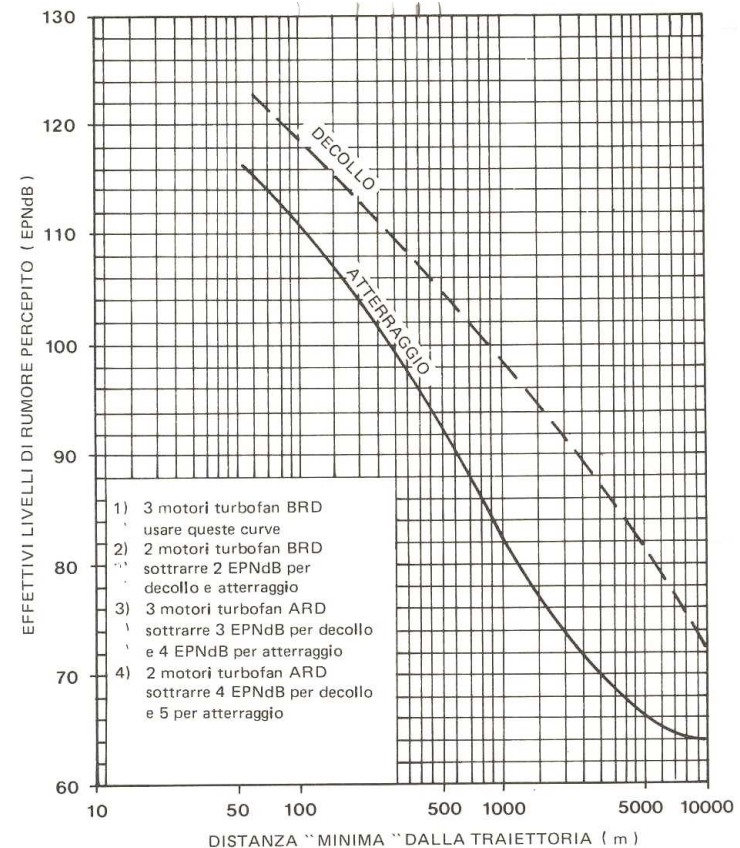
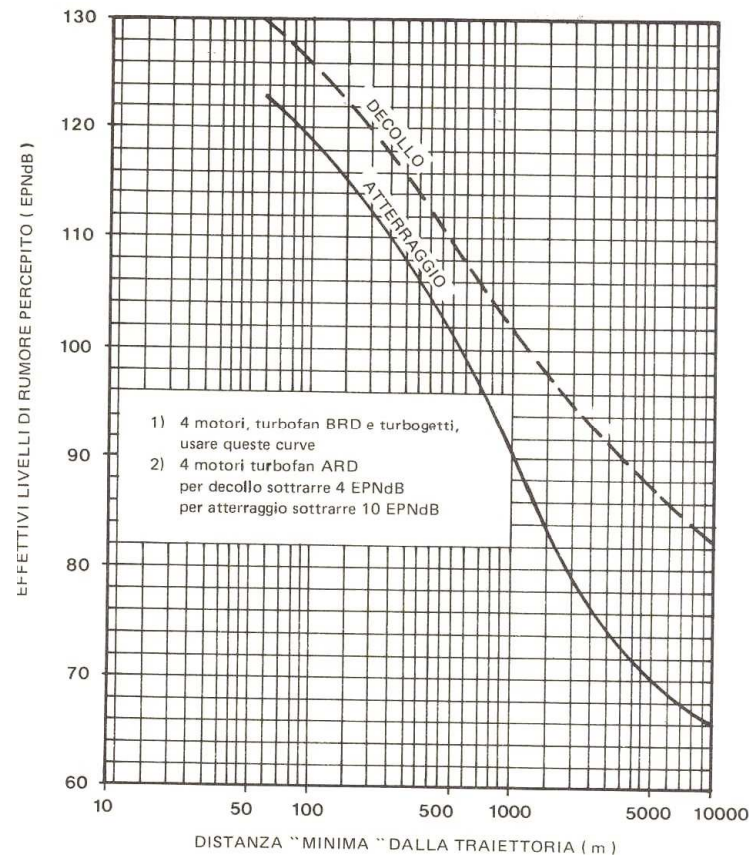
Decollo

Tipo di aerei	Distanza minima della traiettoria (in m)										
	60	100	200	300	500	700	1000	2000	3000	5000	10000
AA	123	119	115	112	102	97	91	79	74	70	66
AB	113	109	105	102	92	87	81	69	64	60	56
BA	116	111	107	104	93	88	83	74	70	66	63
BB	112	107	103	100	89	84	79	70	66	64	59
CA	114	109	105	102	91	86	81	72	68	64	61
CB	111	106	102	99	88	83	78	69	65	63	58
DA	107	104	99	95	90	86	82	72	65	56	—
DB	107	104	99	95	90	86	82	72	65	56	—
DC	110	107	102	98	93	89	85	75	68	59	—
EA	115	111	105	102	97	94	91	85	83	80	78

Atterraggio

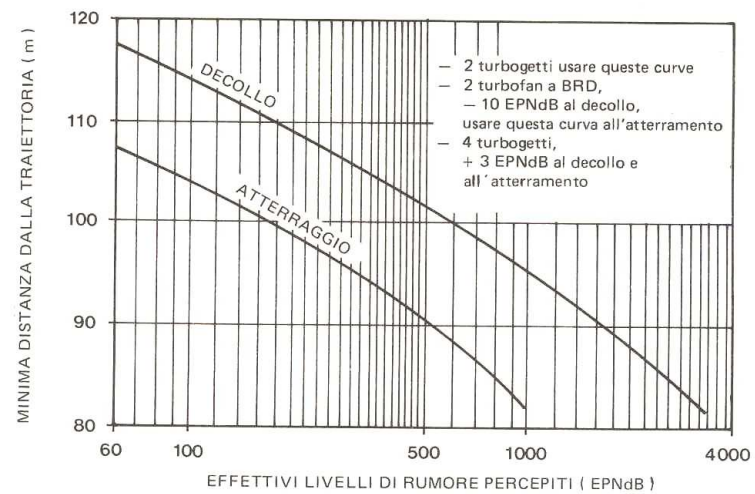
Calcolo del NEF (5)

- 7) Bis – oppure determinare del valore dell'EPNL in funzione della distanza minima, attraverso i diagrammi.



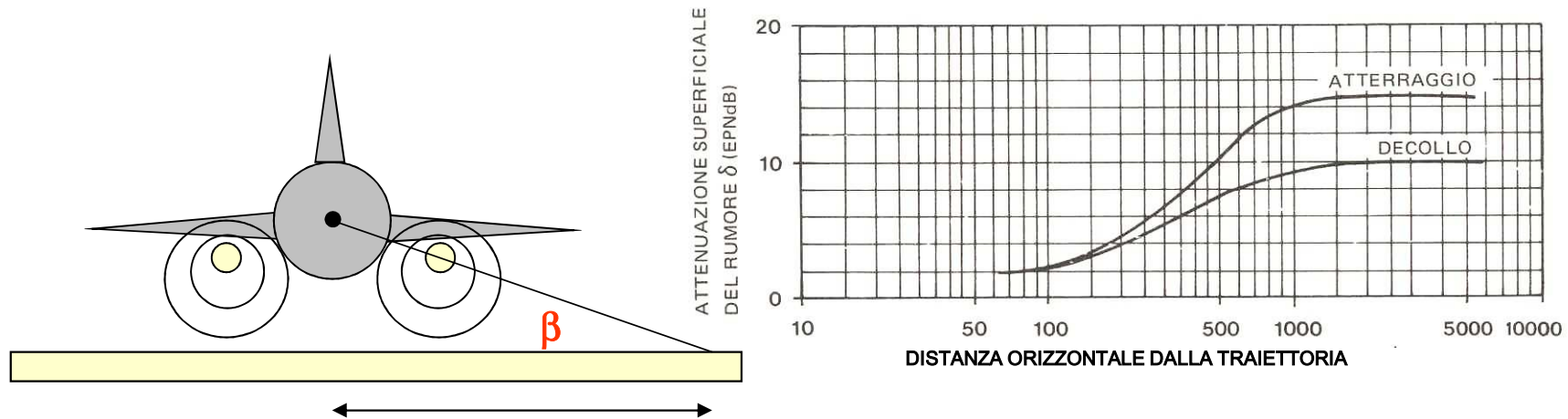
Calcolo del NEF (6)

- 7) Bis – oppure determinare del valore dell'EPNL in funzione della distanza minima, attraverso i diagrammi.



Calcolo del NEF (7)

- 8) **Correzione del valore di EPNL considerando il fenomeno di Assorbimento effettuato dal suolo e dalla Schermatura della fusoliera.**



$$EPNLC_{i,j} = EPNL_{i,j} - A - S$$

$$A = \frac{\delta}{e^{\sqrt{\tan(3\beta)}}}$$

$$S = 3 \cdot (1 - \sqrt{\sin \beta})$$

Calcolo del NEF (8)

- 9) Calcolo del NEF per ogni aereo “i” e per ogni operazione “j”

$$\text{NEF}(i, j) = \text{EPNLC}(i, j) + 10 \cdot \log [N_d(i, j) + 16,67 \cdot N_n(i, j)] - 88$$

- 10) Calcolo del NEF totale.

$$\text{NEF} = 10 \cdot \log \left\{ \sum_i \sum_j 10^{[\text{NEF}(i,j)/10]} \right\}$$

L_{VA} – Livello di valutazione del rumore aeroportuale

$$L_{VA} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N 10^{L_{VA,j}/10} \right]$$

N numero di giorni di osservazione

$L_{VA,j}$ valore giornaliero del livello di valutazione di rumore aeroportuale

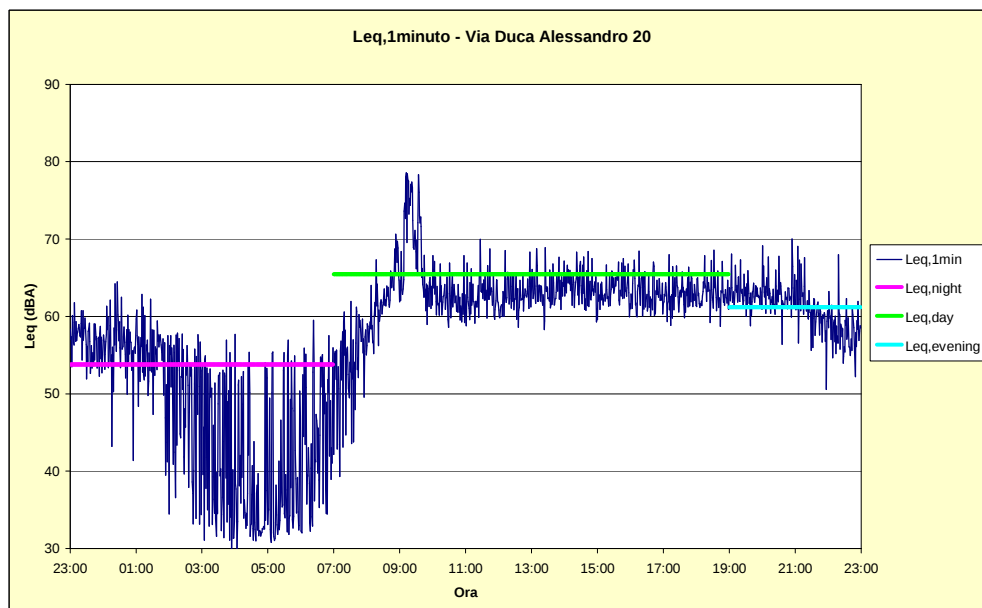
$$L_{VA,j} = 10 \cdot \log \left[\frac{17}{24} \cdot 10^{L_{VAd}/10} + \frac{7}{24} \cdot 10^{L_{VAn}/10} \right]$$

$$L_{VAd} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T_d} \cdot \sum_{i=1}^{Nd} 10^{SEL_i/10} \right]$$

$$L_{VAn} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T_n} \cdot \sum_{i=1}^{Nn} 10^{SEL_i/10} \right] + 10$$

Il Lden (1)

$$L_{den} = 10 \cdot \log \left[\frac{12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}}}{24} \right]$$



EUROPEAN CIVIL
AVIATION CONFERENCE
Tel.: +33 1 46 41 85 44



CONFERENCE EUROPÉENNE
DE L'AVIATION CIVILE
Fax: +33 1 46 24 18 18
+33 1 47 38 13 67

SECRETARIAT
3 bis, Villa Emile-Bergant
92522 Neuilly-sur-Seine Cedex
France

ECAC.CEAC Doc 29

Report on Standard Method of Computing
Noise Contours around Civil Airports

Il Lden (2)

		Legislazione italiana	Direttiva 2002/49/CE	
N. intervalli temporali		2 - diurno e notturno	3 - diurno, serale, notturno	
Durata intervalli	Tutte le sorgenti, tranne rumore aeroportuale	diurno 16 ore (06-22) notturno 8 ore (22-06)	Tutte le sorgenti	diurno da 12 a 14 ore serale da 2 a 4 ore notturno 8 ore
	Rumore aeroportuale	diurno 17 ore (06-23) notturno 7 ore (00-06 e 23-24)		
Base temporale del descrittore acustico	Strade	almeno una settimana *	annuale, riferito a condizioni meteorologiche corrispondenti all'anno medio (almeno su 10 anni)	
	Ferrovie	almeno 24 ore *		
	Aeroporti	tre settimane nell'arco dell'anno		
	Altre sorgenti	TR per i valori limite assoluti di immissione; TM per i valori limite differenziali di immissione; TL o 1 ora per i valori di attenzione		
	* se ricettore nella fascia di pertinenza acustica, TR per i valori limite assoluti di immissione			
TR=tempo di riferimento; TM=tempo di misurazione; TL=tempo a lungo termine				

Periodo	Scenario 1 (orari proposti nella Direttiva)	Scenario 2 (sera di 2 ore)
Diurno ("day")	07-19	06-20
Serale ("evening")	19-23	20-22
Notturno ("night")	23-07	22-06

Interventi sul rumore aeronautico (1)

INTERVENTI DIRETTI

Riduzione del rumore alla fonte

Piste e rotte preferenziali

Procedure antirumore

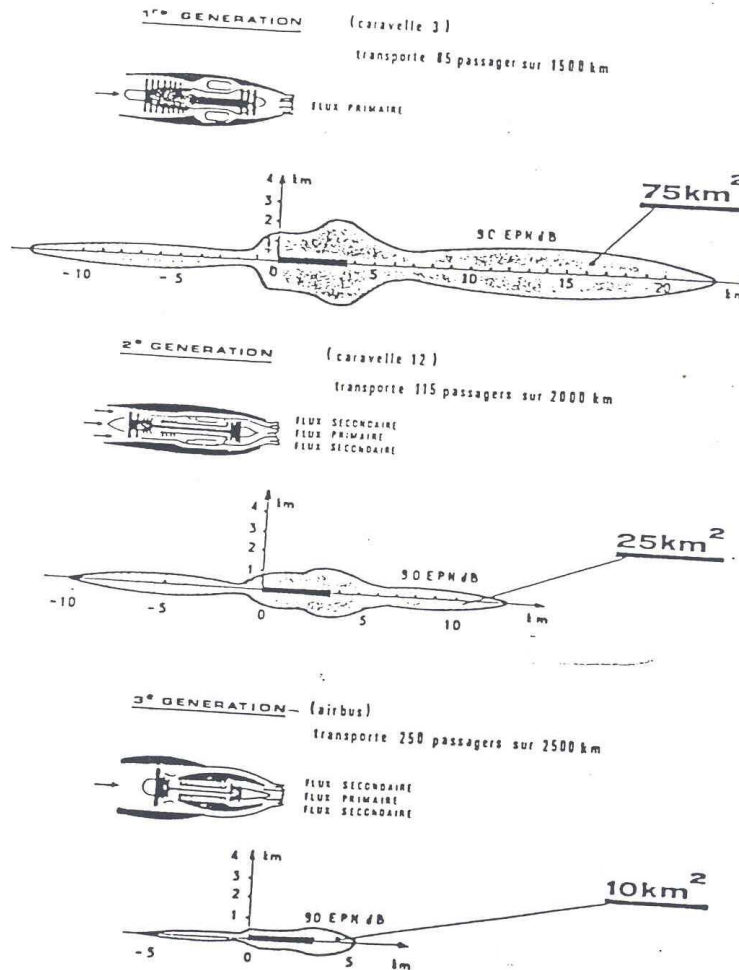
INTERVENTI INDIRETTI

Zonizzazione del territorio

Barriere acustiche

Tassazione

Interventi sul rumore aeronautico (2)



MATRICE DEI PROVVEDIMENTI DI MITIGAZIONE		NATURA DEL PROBLEMA (rumore prevalentemente dovuto a)						
PROVVEDIMENTI DI MITIGAZIONE		OPERAZIONI DI RULLAGGIO (1)						
		Operazioni di rullaggio	Decolli	Avvicinamento all'atterraggio	Corsa in atterraggio	Attività strutturale	Operazioni di manutenzione (2)	Servizi a terra
PIANO REGOLATORE AEROPORTUALE	- Modifica alla ubicazione e alla lunghezza delle piste	•	•	•	•			
	- Decalaggio soglie			•		•		
	- Uscite rapide	•			•			
	- Modifiche ai terminal	•					•	•
	- Segregazione delle zone di manutenzione						•	•
UTILIZZAZIONE DELL'AEROPORTO E DELLO SPAZIO AEREO	- Impiego di silenziatori di piazzale, barriere acustiche	•					•	
	- Uso preferenziale o a rotazione delle piste	•	•	•	•	•		
	- Traiettorie di volo preferenziali o modifica alle procedure di decollo-atterraggio		•	•		•		
	- Limitazione alla circolazione a terra degli a/m	•						
	- Limitazione attività collaudi motori o impiego particolari attrezzature						•	•
OPERATIVITA' DEGLI A/M	- Limitazioni nel numero o tipo di operazioni o nel tipo di a/m	•	•	•	•	•	•	•
	- Modifica orari dei voli o spostamento di parte dell'attività su altri aeroporti	•	•	•	•	•	•	•
	- Incremento angolo di planata o altezza dell'intercetta			•		•		
	- Controllo gestione motori e flap		•	•		•		
	- Limitazione nell'impiego dei reverse				•			
DESTINAZIONE D'USO DEL TERRITORIO	- Acquisto terreni o imposizione di servitù	•	•	•	•	•	•	•
	- Sviluppo coordinato delle attività aeroportuali	•	•	•	•	•	•	•
	- Zonizzazione: piano di esposizione al rumore	•	•	•	•	•	•	•
	- Imposizione di requisiti di fonoisolamento negli edifici	•	•	•	•	•	•	•
	- Assicurazioni		•	•	•	•	•	•
GESTIONE DEI PROGRAMMI DI MITIGAZIONE	- Tassazione operazioni di atterraggio rumorose	•	•	•	•	•	•	
	- Monitoraggio acustico		•	•		•	•	
	- Definizione modalità di partecipazione dei cittadini alla gestione del programma	•	•	•	•	•	•	•

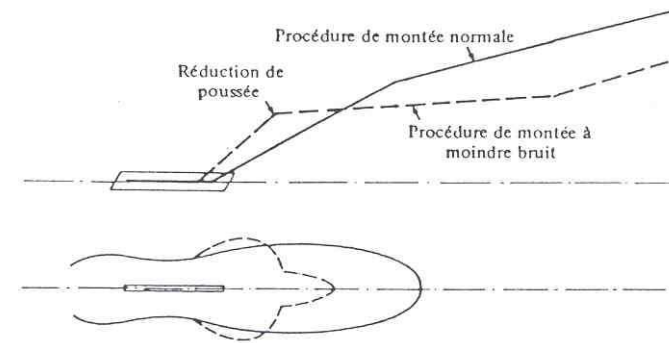
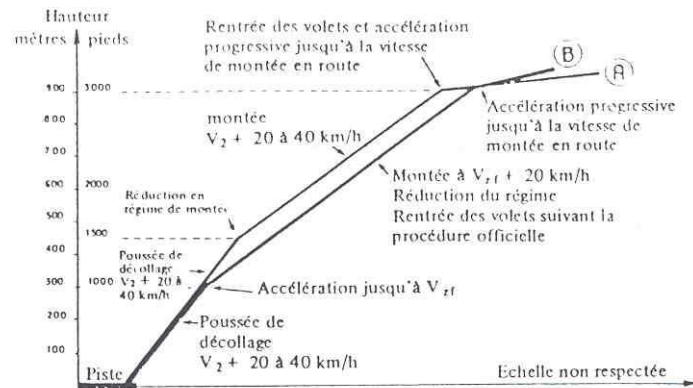
NOTE :

(1) Compreso rumore prodotto dagli a/m nel piazzale di sosta (gruppi elettrogeni ausiliari ecc)

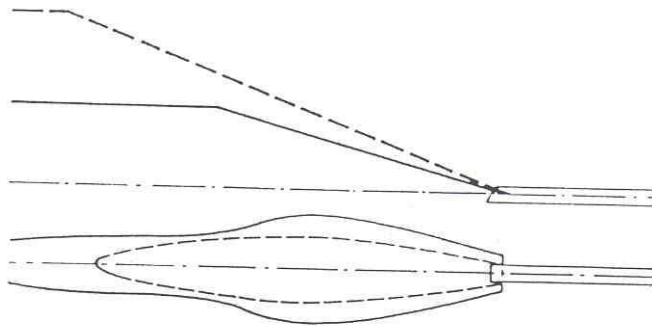
(2) Prevalentemente prove motori

73

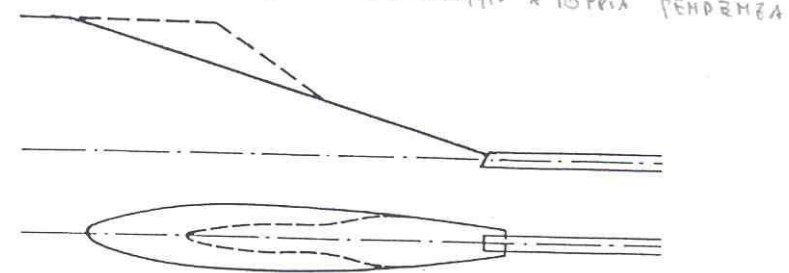
Le procedure antirumore



Procédure d'approche avec relèvement de l'altitude d'interception du plan de descente et de la pente de descente

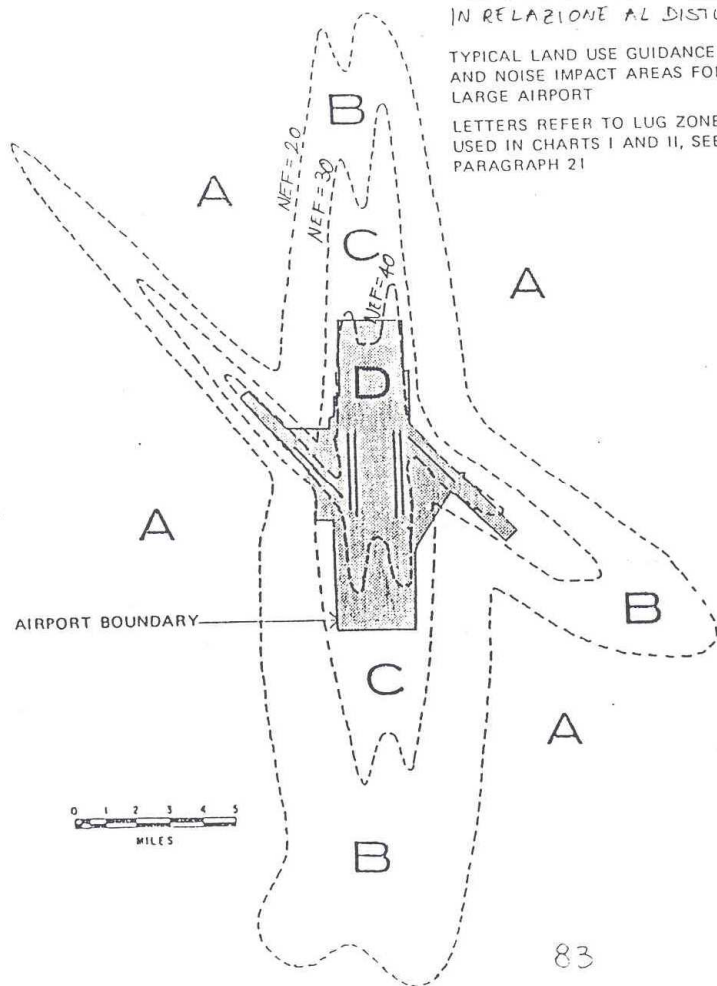


Procédure d'approche à double pente



La zonizzazione (1)

FIG. 6-5: ESEMPIO DI ZONIZZAZIONE
IN RELAZIONE AL DISTURBO ACUSTICO



Indice	Valore di esposizione al rumore			
Zona	A	B	C	D
	minimo	moderato	significativo	grave
Ldn	<55	55-65	65-75	>75
NEF	<20	20-30	30-40	>40
CNR	<90	90-100	100-115	>115
CNEL	<55	55-65	65-75	>75
NNI	<30	30-45	45-60	>60
IP	<84	84-89	89-96	>96
Q	<62	62-67	67-75	>75
Disturbo causato dal rumore	sempre accettato	normalmente accettabile	normalmente non accettabile	sempre inaccettato

NEF	Percentuale di popolazione esposta disturbata dal rumore aereonautico
20	17,0%
25	25,8%
30	34,7%
35	43,5%
40	52,3%
45	61,2%
50	70,0%

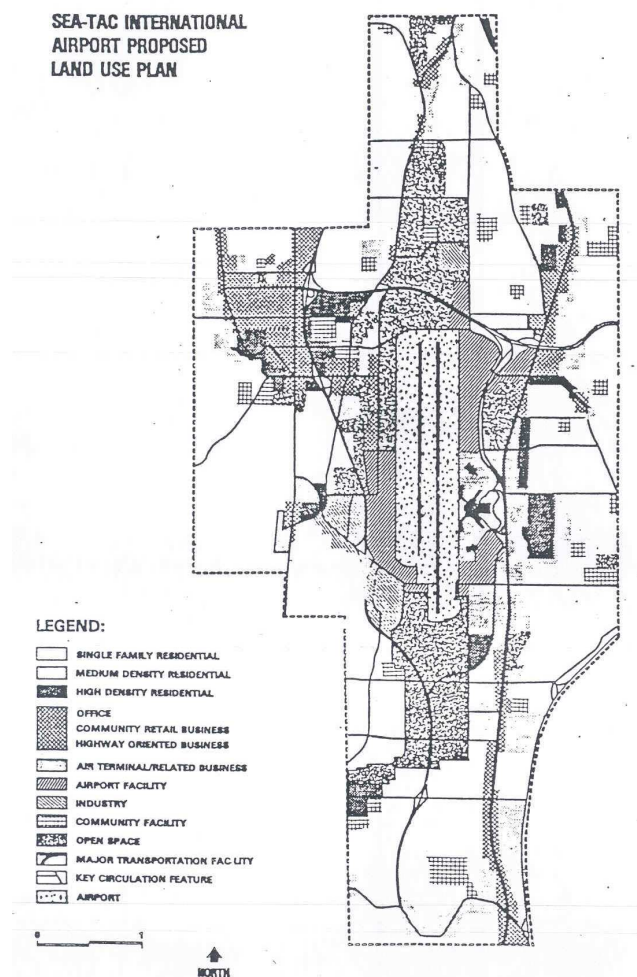
La zonizzazione (2)

ESEMPI DI USO DEL TERRITORIO COMPATIBILI CON I DIVERSI LIVELLI DI ESPOSIZIONE AL RUMORE				
ATTIVITA'	ZONE			
	A	B	C	D
<u>Agricole</u>				
- coltivazioni				
<u>Industriali</u>				
- officine, industrie				
<u>Commerciali</u>				
- Magazzini e spedizioni				
- Uffici, banche, alberghi				
<u>Residenziali</u>				
- bassa densita' abitativa				
<u>Servizi pubblici</u>				
- scuole, ospedali, chiese				
- teatri, anfiteatri				
<u>Attività ricreative all'aperto</u>				
- attività sportive				

Legenda:  uso consentito senza alcuna restrizione

Tipologie d'uso	Campi d'esposizione sonora espressi in Noise Exposure Forecast (NEF)		
	meno di 30	30 - 40	più di 40
Residenziale	si	(B)	no
Commerciale	si	si	(C)
Hotel, motel	si	(C)	no
Uffici, edifici pubblici	si	(C)	no
Scuole, ospedali, chiese	(C)	no	no
Teatri, auditorium	(A) (C)	no	no
Anfiteatri all'aperto, teatri	(A)	no	no
Attività ricreative all'aperto (senza spettatori)	si	si	si
Industriali	si	si	(C)

La zonizzazione (3)



La zonizzazione (4)

intorno aeroportuale: è il territorio circostante l'aeroporto, il cui stato dell'ambiente è influenzato dalle attività aeroportuali, corrispondente all'area in cui il descrittore LVA assume valori superiori a 60 dB(A);

L'intorno aeroportuale delimitato inferiormente dalla curva di isolivello LVA = 60, all'interno della quale vengono individuate tre “zone di rispetto” denominate rispettivamente zona A, zona B, zona C.

Queste zone sono individuate da “confini” costituiti dalle isofoniche:

zona A: l'indice LVA risulta compreso tra valori di 60 e 65 dB(A);

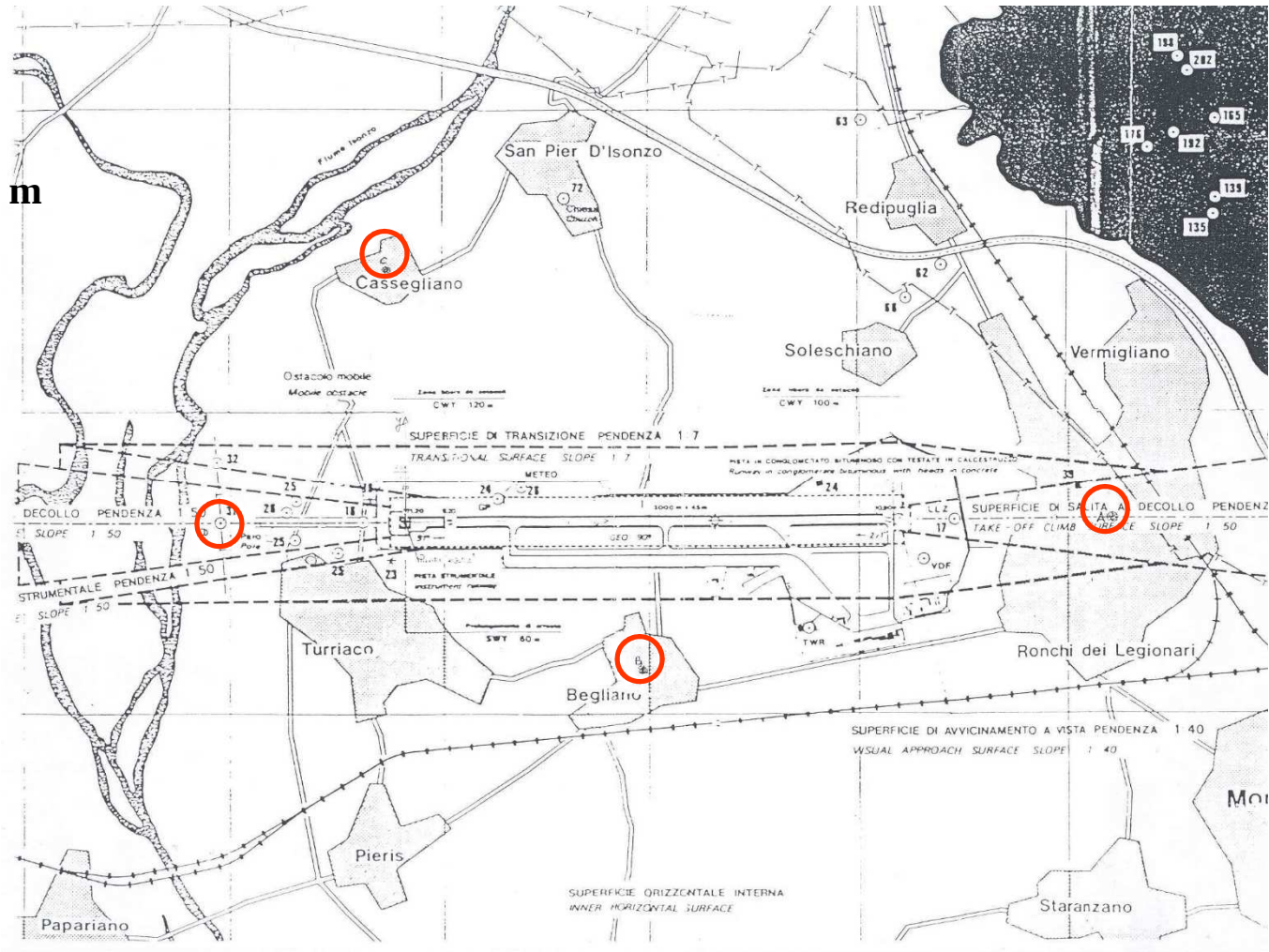
zona B: l'indice LVA risulta compreso tra valori di 65 e 75 dB(A);

zona C. l'indice LVA oltre il valore di 75 dB(A).

Esempio di calcolo (1)

Lunghezza pista 3000 m

Soglia 09 decalata



Esempio di calcolo (2)

OPERATIVITÀ GIORNALIERA

25 movimenti al giorno (50 operazioni al giorno)

Decolli: per 09 20% di cui diurni 70% e notturni 30%; per 27 80% di cui diurni 70% e notturni 30%;

Atterraggi: per 09 100% di cui diurni 70% e notturni 30%; per 27 0%

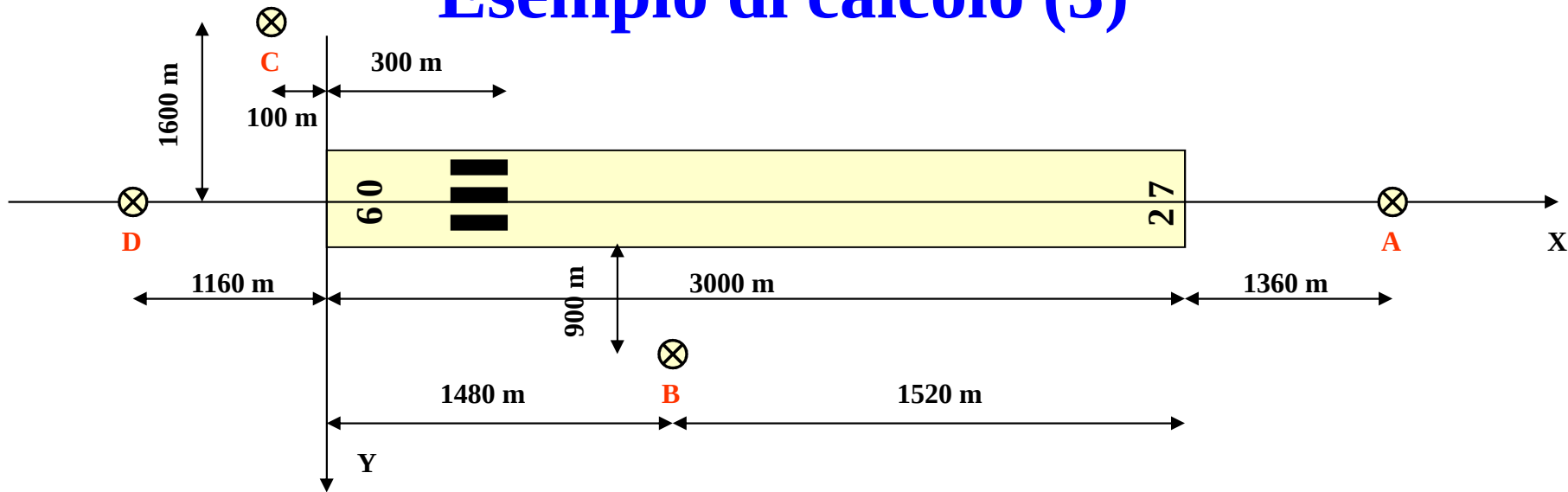
MIX DI TRAFFICO

DC9/30 12 %; MD80 16 %; DASH8 22 %; A. G. 50 %

CARATTERISTICHE DEGLI AEREI

TIPO	MOTORI	MTOW
DC9/30	2 x turbofan BRD	50 t
MD80	2 x turbofan ARD	67 t
DASH8	2 x turboelica	20 t
A.G.	2 x tuboreattori	5 t

Esempio di calcolo (3)



	A			B			C			D		
	D09	D27	A09	D09	D27	A09	D09	D27	A09	D09	D27	A09
X [m]	4360	-1360	1360	1480	1520	1180	-100	3100	-400	-1160	4160	-1460
X [ft]	14301	-4461	4461	4854	4986	3870	-328	10168	-1312	-3805	13645	-4789
Y [m]	0	0	0	900	900	900	-1600	-1600	-1600	0	0	0
Y [ft]	0	0	0	2952	2952	2952	-5248	-5248	-5248	0	0	0