



HOEPLI
TECNICA
PER LA SCUOLA

Danilo Tomassini

3

CORSO DI TELECOMUNICAZIONI

Edizione BLU

Per l'articolazione TELECOMUNICAZIONI
degli Istituti Tecnici settore Tecnologico

Edizione **OPENSCHOOL**

- | | |
|---|---------------|
| 1 | LIBRODITESTO |
| 2 | E-BOOK+ |
| 3 | RISORSEONLINE |
| 4 | PIATTAFORMA |

HOEPLI

CORSO DI TELECOMUNICAZIONI

DANILO TOMASSINI

CORSO DI TELECOMUNICAZIONI

Edizione BLU

Per l'articolazione TELECOMUNICAZIONI
degli Istituti Tecnici settore Tecnologico

Volume 3



EDITORE ULRICO HOEPLI MILANO

Copyright © Ulrico Hoepli Editore S.p.A. 2019

Via Hoepli 5, 20121 Milano (Italy)

tel. +39 02 864871 – fax +39 02 8052886

e-mail hoepli@hoepli.it

www.hoepli.it



Tutti i diritti sono riservati a norma di legge
e a norma delle convenzioni internazionali

Indice

Prefazione	XIII		
Competenze	XVI		
Modulo A			
Fondamenti di telefonia			
A1 Telefonia analogica	2		
A1.1 Il telefono	2		
L'APPARECCHIO TELEFONICO	3		
A1.2 Caratteristiche dei collegamenti telefonici	6		
A1.3 Equivalente	7		
A1.4 Larghezza di banda	8		
A1.5 Tempo di propagazione	9		
A1.6 Distorsioni	9		
DISTORSIONE DI AMPIEZZA	9		
DISTORSIONE DI FASE	10		
DISTORSIONE ARMONICA	10		
A1.7 Rumore	10		
PSOFOMETRO	13		
A1.8 Diafonia	14		
Memo A1  Memo CLIL	18		
Test di verifica	19		
A2 Telefonia digitale	21		
A2.1 Principio della tecnica PCM	21		
A2.2 Trasformazione di un segnale analogico in un segnale PCM	23		
CAMPIONAMENTO	23		
		TRASFERIMENTO E MEMORIZZAZIONE DEI CAMPIONI	25
		QUANTIZZAZIONE	26
		COMPRESSIONE ANALOGICA	27
		QUANTIZZAZIONE NON LINEARE	27
		CODIFICA	27
		CODIFICATORE LINEARE A 8 BIT	29
	A2.3	Struttura della trama e della multitrama PCM	31
		SEGNALE PCM COMPLETO E TRASMISSIONE IN LINEA	33
	A2.4	Ricezione del segnale PCM	34
		STRATEGIA DI ALLINEAMENTO DI TRAMA E DI MULTITRAMA	34
		DECODIFICA	36
		RICOSTRUZIONE DEL SEGNALE ORIGINARIO	37
Memo A2  Memo CLIL	38		
Test di verifica	39		
A3 Attività di laboratorio proposte	41		
A3.1 Rilievo della curva caratteristica di uno psfometro	41		
A3.2 Misura della resistenza di una linea telefonica	43		
CLIL Module A Basics of telephony	45		
		Area digitale	
		 Approfondimento Compressore numerico	
		 Esercizi	

Modulo B

Fondamenti di trasmissione dati

B1	Introduzione alla trasmissione dati	48
B1.1	Introduzione	48
B1.2	Configurazione di un sistema di trasmissione dati	48
B1.3	Trasmissione dati sulla rete telefonica	49
B1.4	Principio di funzionamento del modem	50
	CIRCUITI D'INTERFACCIA DEL MODEM	51
B1.5	Instaurazione di un collegamento dati su rete telefonica commutata	52
	INDIRIZZAMENTO MEDIANTE APPARECCHIO TELEFONICO	52
	INDIRIZZAMENTO MEDIANTE DCA	53
B1.6	Modem fonici	53
	CIRCUITI DI INTERFACCIA	54
	CIRCUITI DI TRASMISSIONE	54
	CIRCUITI DI RICEZIONE	54
B1.7	Limiti del collegamento telefonico per la trasmissione dati	55
B1.8	Applicazioni multimediali	56

Memo B1	Memo CLIL	58
----------------	------------------	----

Test di verifica	59
------------------	----

B2	Protocolli di comunicazione	61
B2.1	Introduzione	61
B2.2	Architettura a strati	62
B2.3	Architettura di una comunicazione	62
	UNITÀ INFORMATIVE	63
B2.4	Modello di riferimento OSI	64
	ARCHITETTURA DEL MODELLO OSI/RM	65
	STRATO FISICO (LIVELLO 1)	67
	STRATO DI COLLEGAMENTO (LIVELLO 2)	67
	STRATO DI RETE (LIVELLO 3)	67
	STRATO DI TRASPORTO (LIVELLO 4)	68
	STRATO DI SESSIONE (LIVELLO 5)	69
	STRATO DI PRESENTAZIONE (LIVELLO 6)	69
	STRATO DI APPLICAZIONE (LIVELLO 7)	69
B2.5	Protocolli di livello 2	70
	TRASMISSIONE SINCRONA E ASINCRONA	70
	PROTOCOLLO ASINCRONO START-STOP	71
	PROTOCOLLI SINCRONI ORIENTATI AL CARATTERE:	
	IL PROTOCOLLO BSC	71
	PROCEDURE BSC	73
	PROTOCOLLI SINCRONI ORIENTATI AL BIT:	
	IL PROTOCOLLO HDLC	73
	STRUTTURA DI UNA TRAMA HDLC	74
	NUMERAZIONE DELLE TRAME	77
	PROCEDURE DI COLLOQUIO HDLC	78

Memo B2	Memo CLIL	80
----------------	------------------	----

Test di verifica	81
------------------	----

CLIL Module B Basics of data transmission	83
--	----

Area digitale

Esercizi

Modulo C

Reti di telecomunicazioni

C1	Introduzione alle reti di telecomunicazioni	86
C1.1	Introduzione	86
C1.2	Struttura di una rete di telecomunicazioni	86
	RETE DI TRASPORTO	88
	RETE DI ACCESSO	88
	RETE DI COMMUTAZIONE	88
C1.3	Servizi di rete	89
C1.4	Tipologia dei servizi di una rete di telecomunicazioni	89
C1.5	Informazioni scambiate nell'erogazione di un servizio	90
C1.6	Tipologie di reti	90

Memo C1	Memo CLIL	92
----------------	------------------	----

Test di verifica	93
------------------	----

C2	Funzioni caratteristiche di una rete di telecomunicazioni	95
C2.1	Introduzione	95
C2.2	Modalità di trasferimento delle informazioni	95
C2.3	Multiplazione	96
C2.4	Commutazione	98
	COMMUTAZIONE DI CIRCUITO	99
	TECNICA STORE AND FORWARD	99
	COMMUTAZIONE DI MESSAGGIO	99
	COMMUTAZIONE DI PACCHETTO	100
	MODALITÀ DATAGRAMMA O A PACCHETTI ISOLATI	101
	MODALITÀ A CHIAMATA VIRTUALE O A PACCHETTI UNITI	102
	RITARDO DEI PACCHETTI	103
	CONFRONTO TRA LE DIVERSE TECNICHE DI COMMUTAZIONE	104
C2.5	Architetture protocollari	105

Memo C2	Memo CLIL	106
----------------	------------------	-----

Test di verifica	108
------------------	-----

C3	Reti a commutazione di circuito	110
C3.1	Introduzione	110
C3.2	Struttura generale di una rete a commutazione di circuito	110
C3.3	Multiplazione numerica	111
	MULTIPLAZIONE SINCRONA	112
	MULTIPLAZIONE ASINCRONA	113
C3.4	Sistema di multiplazione SDH	115
	I PUNTORI E LA RELATIVA GIUSTIFICAZIONE DI FREQUENZA	116
	STRUTTURE NUMERICHE	117
	CONTENITORI (CONTAINER, C)	117
	CONTENITORI VIRTUALI (VIRTUAL CONTAINER, VC)	117
	UNITÀ TRIBUTARIE (TRIBUTARY UNIT, TU)	117
	GRUPPO DI UNITÀ TRIBUTARIE (TRIBUTARY UNIT GROUP, TUG)	117
	UNITÀ AMMINISTRATIVE (ADMINISTRATIVE UNIT, AU)	118
	GRUPPI DI UNITÀ AMMINISTRATIVE (ADMINISTRATIVE UNIT GROUP, AUG)	118
	MODULO DI TRASPORTO SINCRONO (SYNCHRONOUS TRANSPORT MODULE, STM)	118
	L'OVERHEAD	118
	STRUTTURA DEL MODULO STM-N	119
	MULTIPLAZIONE SDH	120
C3.5	Commutazione di circuito	121
	COMMUTAZIONE ANALOGICA A DIVISIONE DI TEMPO	122
	COMMUTAZIONE NUMERICA A DIVISIONE DI TEMPO	123
	MULTISTADIO TST	126
C3.6	Segnalazione nelle reti a commutazione di circuito	128
	SEGNALAZIONE D'UTENTE	128
	SEGNALAZIONE TRA AUTOCOMMUTATORI	129

Memo C3  **Memo CLIL** 131

Test di verifica 132

C4	Reti a commutazione di pacchetto	135
C4.1	Introduzione	135
C4.2	Struttura di una rete a pacchetto	135
	APPARATI DI ADATTAMENTO E CONCENTRAZIONE DI PACCHETTI (ACP)	136
	NODI DI COMMUTAZIONE (NCP)	136
	RETE DI ACCESSO	136
	INTERCONNESSIONI TRA NODI E ACP-NODI	136
	CENTRI DI GESTIONE E MANUTENZIONE (CGM)	136
C4.3	Raccomandazione X.25	136
	STRATO FISICO	137
	STRATO DI TRAMA	138
	STRATO DI PACCHETTO	138
C4.4	Raccomandazioni X.28, X.29 e X.3	140

Memo C4  **Memo CLIL** 141

Test di verifica 142

C5	Rete telefonica nazionale	143
C5.1	Introduzione	143
C5.2	Rete di accesso	143
	RETE DI ACCESSO IN CAVO A COPPIE SIMMETRICHE	143
	RETE DI ACCESSO IN FIBRA OTTICA	144
C5.3	Architettura della rete di commutazione	145
	STADIO DI GRUPPO DI TRANSITO	145
	STADIO DI GRUPPO URBANO	146
	STADIO DI LINEA	146
	UNITÀ DI CONCENTRAZIONE REMOTA	146
	MULTIPLEX DI ABBONATO	146
	CENTRALI INTERNAZIONALI	146
C5.4	Rete di trasporto	147
C5.5	Disciplina della numerazione delle telecomunicazioni	147
	NUMERAZIONE COMPLETA	147
	NUMERAZIONE PER SERVIZI	147
	STRUTTURA DELLA NUMERAZIONE E.164	147
C5.6	Struttura della rete telefonica nazionale	148
C5.7	Traffico telefonico	149
	UTENTI E RISORSE	149
	CONGESTIONE	149
	CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DI UNA RETE TELEFONICA	150
	GENERAZIONE DEL TRAFFICO	150
	INTENSITÀ DI TRAFFICO	151

Memo C5  **Memo CLIL** 157

Test di verifica 159

CLIL Module C Telecommunication networks 161

Area digitale

 **Esercizi**

Modulo D

Reti LAN

D1	Introduzione alle reti LAN	164
D1.1	Introduzione	164
D1.2	Topologia di una rete LAN	164
	TOPOLOGIA A BUS	165
	TOPOLOGIA A STELLA	165
	TOPOLOGIA AD ANELLO	165
	TOPOLOGIA IBRIDA	166
D1.3	Mezzi trasmissivi impiegati nelle LAN	166
	CAVI IN RAME	166
	CAVI A COPPIE SIMMETRICHE	167
	CAVO COASSIALE	168

Memo D1  **Memo CLIL** 170

Test di verifica 171

D2	Modello IEEE 802	172	D4	Fast Ethernet e Gigabit Ethernet	203
D2.1	Introduzione	172	D4.1	Fast Ethernet	203
D2.2	Il modello di riferimento IEEE 802	173	ARCHITETTURA DI 100BASET	203	
D2.3	L'IEEE 802.1	173	100BASET4	204	
	SOTTOLIVELLO MAC	174	100BASETX	205	
D2.4	IEEE 802.2	175	100BASEFX	205	
D2.5	IEEE 802.3	177	DIAMETRO DELLA RETE	205	
D2.6	IEEE 802.4	177	HUB A 100 MBit/s	205	
D2.7	IEEE 802.5	177	FUNZIONAMENTO FULL-DUPLEX	206	
D2.8	FDDI	177	D4.2	Gigabit Ethernet	206
<hr/>			ARCHITETTURA DEL GIGABIT ETHERNET	206	
Memo D2	 Memo CLIL	178	1000BASEX	207	
<hr/>			1000BASET	207	
Test di verifica		179	DIAMETRO DELLA RETE. CARRIER EXTENSION E FRAME BURSTING	207	
<hr/>			<hr/>		
D3	Reti Ethernet e standard IEEE 802.3	181	Memo D4	 Memo CLIL	209
D3.1	Introduzione	181	<hr/>		
D3.2	Standard Ethernet 2.0	182	Test di verifica		210
	LIVELLO FISICO	182	<hr/>		
	LIVELLO MAC	183	D5	Rete Tokeng Ring e standard IEEE 802.5	212
D3.3	Standard IEEE 802.3	183	D5.1	Rete token ring	212
	LIVELLO FISICO	183	D5.2	Trasmissione delle PDU	213
	SOTTOLIVELLO MAC	185	D5.3	Active monitor	214
	TECNICA DI ACCESSO CSMA/CD	186	D5.4	Priorità di accesso	215
	L'ALGORITMO DI REGRESSIONE BINARIA ESPONENZIALE	187	D5.5	Il livello fisico	215
	PARAMETRI CARATTERISTICI DELLO STANDARD 802.3	187	CABLAGGIO	215	
	ROUND TRIP COLLISION DELAY	187	<hr/>		
	INTER PACKET GAP	188	Memo D5	 Memo CLIL	217
	DOMINI DI COLLISIONE	188	<hr/>		
	DIAMETRO DELLA RETE, VELOCITÀ DI TRASMISSIONE, LUNGHEZZA MINIMA DELLE PDU, DISTANZA MINIMA TRA LE PDU	189	Test di verifica		218
	VERSIONI DELLO STANDARD 802.3	189	<hr/>		
	10BASE5 (THICK ETHERNET)	190	D6	Wireless LAN	220
	10BASE2 (THIN ETHERNET)	190	D6.1	Introduzione	220
	10BASET	191	D6.2	Architettura di una WLAN	220
	10BASEF	192	D6.3	Struttura protocollare	222
D3.4	Hub	192	D6.4	Tecniche di trasmissione per WLAN	223
	FUNZIONI DI UN HUB	192	TECNICHE A RADIOFREQUENZA	223	
	RIGENERAZIONE DEL SEGNALE	192	MODULAZIONE FHSS	223	
	RIGENERAZIONE DEL PREAMBOLO	192	MODULAZIONE DSSS	224	
	RILEVAZIONE DELLE COLLISIONI	193	MODULAZIONE OFDM	225	
	PARTIZIONAMENTO DELLE PORTE	193	TECNICHE A INFRAROSSO	226	
	RITARDO E INTER PACKET GAP	193	D6.5	Standard 802.11	228
D3.5	Switch	193	D6.6	Sicurezza	229
	ARCHITETTURA FISICA DI UNO SWITCH	194	<hr/>		
	TABELLA DI INSTRADAMENTO	194	Memo D6	 Memo CLIL	230
	RICEZIONE E TRASMISSIONE DELLE PDU	195	<hr/>		
	IL PROCESSO DI LEARNING	195	Test di verifica		232
	MODALITÀ DI SWITCHING	195	<hr/>		
	TECNICHE DI INSTRADAMENTO	196	D7	Cablaggio strutturato	233
D3.6	VLAN	197	D7.1	Introduzione	233
<hr/>			<hr/>		
Memo D3	 Memo CLIL	199	<hr/>		
Test di verifica		200	<hr/>		

D7.2	Architettura generale del cablaggio strutturato	234
D7.3	Componenti utilizzati in un cablaggio strutturato	235
	CAVI DI RETE	236
D7.4	Vantaggi e svantaggi del cablaggio strutturato	238
D7.5	Sistemi di cablaggio strutturato	239
	STANDARD EIA/TIA 568	239
	TOPOLOGIA	239
	CABLAGGIO VERTICALE (DORSALI)	240
	CABLAGGIO ORIZZONTALE	240
	NORME D'INSTALLAZIONE DEI CAVI IN RAME	241
	IDENTIFICAZIONE DEI CAVI E DELLE POSTAZIONI DI LAVORO	241
	DOCUMENTAZIONE	241
	STANDARD ISO/IEC 11801	242
	NOMENCLATURA	242
	TOPOLOGIA	242
	CLASSIFICAZIONE DELLE CONNESSIONI	243
	MEZZI TRASMISSIVI	244
	TRATTAMENTO DELLO SCHERMO E MESSA A TERRA	244

Memo D7 Memo CLIL 245

Test di verifica	246
------------------	-----

D8	Attività di laboratorio proposte	248
D8.1	Cablatura di un cavo di rete	248
D8.2	Configurazione del nome di uno switch Cisco	250
D8.3	Inserimento di un indirizzo statico nella tabella degli indirizzi MAC di uno switch	251
D8.4	Inserimento di un indirizzo statico ristretto nella tabella degli indirizzi MAC di uno switch	253

CLIL Module D LAN networks 255

Area digitale

Esercizi

Modulo E

Protocollo TCP/IP

E1	Introduzione al protocollo TCP/IP	258
E1.1	La suite di protocolli TCP/IP	258
	LIVELLO INTERFACCIA DI RETE	259
	LIVELLO INTERNET	259
	LIVELLO TRASPORTO	260

	LIVELLO APPLICAZIONE	260
E1.2	Criteri generali dell'architettura del TCP/IP	261
E1.3	Documenti RFC (Request For Comments)	262

Memo E1 Memo CLIL 263

Test di verifica	264
------------------	-----

E2	Protocolli Internet versione 4	266
E2.1	ARP	266
	STRUTTURA DEI MESSAGGI ARP	267
	LA CACHE ARP	268
E2.2	Il protocollo RARP	269
E2.3	Internet protocol versione 4	269
	STRUTTURA DELL'HEADER	270
E2.4	Processo di frammentazione	272
E2.5	Indirizzi IP4	275
	TIPOLOGIE DI INDIRIZZI IP	277
	INDIRIZZI RISERVATI ALL'USO PRIVATO	277
	INDIRIZZI IP RISERVATI	277
	NETMASK	278
	CALCOLO DEL NUMERO DELLE RETI E DEI TERMINALI	279
E2.6	Subnetting	279
	IL CONCETTO DI SOTTORETE (SUBNET)	280
	DETERMINAZIONE DEGLI INDIRIZZI DI SOTTORETE	281
	PROCEDURA DI SUBNETTING	282
	VLSM	288
E2.7	Notazione CIDR	290
	SUPERNETTING	291
E2.8	Protocollo ICMP	294
	ERRORI RILEVABILI DA IP	294
	MESSAGGI ICMP DI ERRORE PIÙ COMUNI	296
	MESSAGGI ICMP DI DOMANDE PIÙ COMUNI	298
E2.9	Ping	298
E2.10	Traceroute	299
E2.11	Trasmissione multicast	300
	MULTICAST IP	301
E2.12	Il protocollo IGMP	302
E2.13	La classe D e gli scope address multicast	302
	LINK-LOCAL SCOPE O LOCAL NETWORK CONTROL BLOCK (224.0.0.0 ÷ 224.0.0.255)	303
	RESERVED GLOBAL SCOPED ADDRESSES: 224.0.1.0 ÷ 224.0.1.255	303
	ADMINISTRATIVELY SCOPED ADDRESSES: 239.0.0.0 ÷ 239.255.255.255	303
	LA SICUREZZA APPLICATA AL MULTICAST	303
E2.14	Protocolli di livello Internet versione 6	304

Memo E2 Memo CLIL 306

Esercizi di verifica	307
Test di verifica	310

E3	Protocolli di trasporto	313			
E3.1	Il protocollo TCP	313			
	STRUTTURA DEL SEGMENTO TCP	313			
	PORTE DEL PROTOCOLLO TCP	315			
	PROCESSO DELLE FINESTRE SCORREVOLI	316			
	OPZIONI TCP	316			
E3.2	Connessioni TCP	317			
	INSTAURAZIONE DI UNA CONNESSIONE TCP:				
	IL THREE WAY HANDSHAKE	317			
	CHIUSURA DELLA CONNESSIONE	318			
	LO STATO TIME_WAIT	319			
E3.3	Modello client-server	319			
	STATO DELLE PORTE E SICUREZZA	321			
E3.4	Il protocollo UDP	321			
	DATAGRAMMA UDP	321			
Memo E3  Memo CLIL		323			
Test di verifica		324			
E4	Internetworking	326			
E4.1	Interconnessioni di LAN	326			
	SORGENTE E DESTINAZIONE				
	SULLA STESSA RETE	326			
	SORGENTE E DESTINAZIONE SU RETI DIVERSE.				
	PROCESSO DI ROUTING	326			
	ROUTING STATICO	327			
	ROUTING DINAMICO	328			
	ROUTING DINAMICO CENTRALIZZATO	328			
	ROUTING DINAMICO ISOLATO	328			
	ROUTING DINAMICO DISTRIBUITO	329			
	RETI ADIACENTI	329			
	RETI REMOTE	329			
E4.2	Protocolli di routing	329			
	SUDDIVISIONE IN AREE	330			
E4.3	Interior Gateway Protocols (IGP) e Exterior Gateway Protocols (EGP)	332			
E4.4	Protocolli Distance Vector	332			
	ROUTING LOOPS	335			
	PROTOCOLLO RIP	336			
	PROTOCOLLO IGRP	338			
E4.5	Protocolli link state	341			
	COSTRUZIONE DELLA MAPPA DELLA RETE	341			
	ALGORITMO DI DIJKSTRA	342			
	LINK STATE PACKET	342			
	DESIGNED ROUTER	343			
	CONSIDERAZIONI FINALI	344			
E4.6	Protocollo Open Shortest Path First (OSPF)	345			
	PROTOCOLLO HELLO	345			
	PROTOCOLLO EXCHANGE	346			
	IL PROTOCOLLO DI FLOODING	347			
	MOTIVAZIONI DELLA DIFFUSIONE DEL PROTOCOLLO OSPF	348			
E4.7	Protocolli ibridi: l'EIGRP	348			
E4.8	Exterior Gateway Protocols (EGP) il Protocollo BGP	349			
	STRUTTURA DEI MESSAGGI BGT	349			
	MESSAGGIO OPEN	350			
	MESSAGGIO UPDATE	350			
	MESSAGGIO NOTIFICATION	351			
	MESSAGGIO KEEPALIVE	351			
	ROUTE E PROCESSO DECISIONALE	352			
E4.9	Router	352			
E4.10	Switch di livello 3	353			
Memo E4  Memo CLIL		355			
Esercizi di verifica		356			
Test di verifica		357			
E5	Configurazione automatica degli indirizzi IP	360			
E5.1	Introduzione	360			
E5.2	BOOTP	360			
E5.3	DHCP	361			
	STATI DEL DHCP	361			
	DHCP RELAY AGENT	363			
	IL FORMATO DEI MESSAGGI DHCP	364			
	MODALITÀ DI ASSEGNAZIONE DEGLI INDIRIZZI MEDIANTE DHCP	366			
Memo E5  Memo CLIL		367			
Test di verifica		368			
E6	Internet	369			
E6.1	Introduzione	369			
E6.2	Cenni di storia di Internet	369			
	L'ESPANSIONE DEGLI ANNI NOVANTA	370			
E6.3	La commutazione di pacchetto	372			
E6.4	La struttura client-server	372			
E6.5	Comunicazioni su Internet	373			
E6.6	Indirizzamento in Internet	374			
E6.7	DNS	375			
	NOMI DI DOMINIO	376			
	STRUTTURA DEL DNS	377			
	CLASSIFICAZIONE DEI NAME SERVER	378			
	PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL DNS	378			
	CACHING	379			
	FORMATO DEI MESSAGGI	380			
	RICERCA INVERSA	381			
E6.8	Registrazione di un dominio	382			
Memo E6  Memo CLIL		383			
Test di verifica		384			

E7	Attività di laboratorio proposte	386
E7.1	Determinazione dell'indirizzo IP e dell'indirizzo MAC di un PC	386
E7.2	Determinazione dell'indirizzo IP di un router	388
E7.3	Configurazione manuale di un indirizzo IPv4 in Windows 10	389
E7.4	Configurazione della porta seriale di un router Cisco	391
E7.5	Configurazione del CDP di un router Cisco	393
E7.6	Configurazione del protocollo RIP	395
E7.7	Esempio di simulazione di due LAN con Packet Tracer	396
E7.8	Realizzazione di una LAN con Packet Tracer e verifica del funzionamento	400
E7.9	Esercitazione di laboratorio proposta	402
CLIL	Module E TCP/IP Protocol	403

Area digitale

 **Approfondimento** Campo opzioni e padding

 **Esercizi**

Modulo F

Reti di telecomunicazioni integrate a larga banda

F1	Introduzione alle reti di telecomunicazioni a larga banda	406
F1.1	Definizioni preliminari	406
F1.2	Reti a larga banda	406

Memo F1  **Memo CLIL** 409

Test di verifica 410

F2	Rete ISDN	411
F2.1	Introduzione	411
F2.2	Modalità di accesso alla rete ISDN	411
F2.3	Terminazioni di rete	412
F2.4	Trasmissione su doppino telefonico	413

Memo F2  **Memo CLIL** 415

Test di verifica 416

F3	Sistemi di accesso DSL	418
F3.1	Introduzione	418
F3.2	Evoluzione della velocità di trasmissione su rame	418
F3.3	Sistemi ADSL	419
	ARCHITETTURA DELL'ACCESSO ADSL	419
	VELOCITÀ DI TRASMISSIONE ADSL	420
	ALLOCAZIONE DELLA BANDA ADSL	421
	MODULAZIONE DMT	421
F3.4	ADSL2 e ADSL2+	423
F3.5	VDSL e VDSL2	423
F3.6	DSM e Vectoring	424
F3.7	Bonding	425
F3.8	G.fast	426

Memo F3  **Memo CLIL** 427

Test di verifica 429

F4	Reti convergenti	431
F4.1	Le reti NGN	431
F4.2	I nuovi servizi delle reti NGN	432
F4.3	Reti NGAN	432
F4.4	Reti NGAN in tecnologia GPON	433
	TIPOLOGIE DI GPON	435
	FTTN	435
	FTTC	436
	FTTB	436
	FTTH - FIBRE TO THE HOME	436
	CONFIGURAZIONI DI SISTEMA: PtP e PtMP	437

Memo F4  **Memo CLIL** 438

Test di verifica 440

CLIL Module F Networks of integrated broadband telecommunications 442

Area digitale

 **F5** Voice over IP

F5.1	Introduzione	
F5.2	Standard e tecnologie proprietarie	
F5.3	Internet e la rete PSTN	
F5.4	Principio di funzionamento del VoIP	
F5.5	Protocolli standard VoIP	
F5.6	Raccomandazione H.323	
F5.7	Protocollo SIP	
F5.8	Problematiche del VoIP	
F5.9	Qualità di servizio	
F5.10	Tecniche di codifica per migliorare la QoS	
F5.11	Sicurezza VoIP	

Memo F5 **Memo CLIL**

Test di verifica

Area digitale **Esercizi****Modulo G****Telefonia mobile**

G1	Principi base dei sistemi radiomobili	446
G1.1	Introduzione	446
G1.2	Aspetti funzionali di una rete cellulare	447
G1.3	Tecniche di accesso	447
	TECNICA FDMA	448
	TECNICA TDMA	448
	RIUTILIZZO DELLE FREQUENZE	448
	GESTIONE DELLA MOBILITÀ	450
	INTERFERENZA CO-CANALE	451
	INTERFERENZA TRA CANALI ADIACENTI	451
G1.4	Tecniche di copertura	451

Memo G1	 Memo CLIL	453
----------------	--	-----

Test di verifica		454
------------------	--	-----

G2	Evoluzione dei sistemi radiomobili	456
G2.1	Introduzione	456
G2.2	Sistemi di prima generazione	457
G2.3	Sistemi di seconda generazione	458
G2.4	Sistema GSM	458
	ARCHITETTURA DELLA RETE	459
	MOBILE STATION	460
	ASPETTI RELATIVI ALLA NUMERAZIONE	461
	SOTTOSISTEMA RADIO	462

G2.5	Le evoluzioni del GSM: gli standard GPRS ed EDGE	464
G2.6	Sistemi di terza generazione	465
G2.7	Sistema UMTS UTRAN	465
	PROTOCOLLI SUPPORTATI	466
	TECNICHE DI ACCESSO	467
G2.8	Sistemi di quarta generazione (4G)	467
	TECNOLOGIA LTE	467
	ARCHITETTURA DELLA RETE LTE	468
	TECNICHE DI ACCESSO RADIO	469
	LA TECNICA MIMO	470
	EFFICIENZA SPETTRALE	470
	LTE ADVANCED	470

Memo G2	 Memo CLIL	472
----------------	--	-----

Test di verifica		474
------------------	--	-----

CLIL Module G Physical transmission media		476
--	--	-----

Area digitale **Esercizi****LABORATORIO**

1	Sistema operativo IOS e apparato CISCO	481
2	Packet Tracer	511

Come utilizzare il coupon per scaricare la versione digitale del libro (eBook+) e i contenuti digitali integrativi (risorse online)		526
--	--	-----

Prefazione

L'opera, articolata in tre volumi, recepisce le indicazioni ministeriali sui nuovi istituti tecnici del settore tecnologico per la disciplina *Telecomunicazioni*, sia per il secondo biennio (volumi 1 e 2), sia per il quinto anno (volume 3), realizzando un percorso di apprendimento graduale e completo. Il volume 3 in particolare comprende lo studio della telefonia sia analogica sia numerica, della trasmissione dati, delle reti di telecomunicazioni, con particolare riguardo alle reti LAN e alle reti integrate a larga banda, e al protocollo TCP/IP. Nella stesura del corso sono state attuate le indicazioni ministeriali sull'editoria scolastica in materia di **libri digitali**, con l'integrazione tra il testo cartaceo, il libro digitale arricchito (**e-Book+**), le **risorse** disponibili **online** sul sito www.hoepliscuola.it e, a discrezione del docente, la piattaforma didattica.

Inoltre si è tenuto conto delle **indicazioni ricevute dai docenti**, contattati prima della stesura dell'opera. Infine, è disponibile per l'insegnante un fascicolo dedicato all'**Alternanza Scuola-Lavoro** nel quale sono riportati tre esempi di progetti reali (uno per il terzo, uno per il quarto e uno per il quinto anno) che fanno riferimento ad alcuni argomenti trattati nei tre volumi.

Impostazione didattica

Il testo si articola in moduli didattici, ciascuno dei quali è diviso in unità di apprendimento ed è preceduto da una pagina di apertura dove vengono indicati i contenuti del modulo, gli obiettivi da raggiungere, distinti in conoscenze e abilità, e i prerequisiti che occorre possedere per proseguire nello studio.

Allo scopo di fornire agli studenti un valido supporto didattico per valutare il loro grado di preparazione, in ciascuna unità sono stati introdotti numerosi esercizi svolti.

Al termine di ciascuna unità sono presenti una **scheda memo** riassuntiva e una vasta gamma di **esercizi e test di verifica** sotto forma di quesiti di vario tipo (a risposta aperta, a scelta multipla, vero/falso a completamento).

I vari moduli comprendono delle unità finali con le proposte di **attività di laboratorio**, da svolgere sia con strumentazione reale sia, in alcuni casi, con strumenti virtuali, avvalendosi del software di simulazione **Packet Tracer** per apparati Cisco.

Al termine di ogni modulo, inoltre, viene proposta una **scheda riassuntiva** sui contenuti del modulo stesso e dei **test in inglese (CLIL)**.

Infine, al termine del testo, è presente un'unità dedicata al laboratorio, nella quale sono trattati gli strumenti di misura utilizzati nelle esercitazioni di laboratorio proposte nelle unità finali di modulo.

Nelle pagine di apertura del volume sono riportate, oltre alle competenze generali previste per l'indirizzo e l'articolazione, sia le competenze generali relative alla disciplina sia quelle specifiche da sviluppare nel quinto anno di corso.

Contenuti

Il volume è formato da **8 moduli** così strutturati:

- A: Fondamenti di telefonia
- B: Fondamenti di trasmissione dati
- C: Reti di telecomunicazioni
- D: Reti LAN
- E: Protocollo TCP/IP
- F: Reti di telecomunicazioni integrate a larga banda
- G: Telefonia mobile
- Laboratorio

Nel **modulo A** vengono illustrati i fondamenti della telefonia analogica e numerica, con particolare attenzione alla tecnica PCM.

Nel **modulo B**, viene trattata la trasmissione dati, in modo particolare i protocolli di comunicazione di livello 2 del modello OSI/RM.

Il **modulo C** è dedicato alle reti di telecomunicazioni, in particolare alle reti a commutazione di circuito e di pacchetto, nonché alla rete telefonica nazionale.

Nel **modulo D** sono descritti i vari standard delle reti LAN e il cablaggio strutturato.

Nel **modulo E** è trattato il protocollo TCP/IP, con particolare attenzione all'internetworking e alla rete Internet.

Il **modulo F** è dedicato alle reti integrate a larga banda, ovvero ai sistemi di accesso DSL e alle reti convergenti.

Nel **modulo G** sono trattati i principali sistemi di comunicazione mobile adottati in Italia a partire dagli anni '70 del secolo scorso fino ai nostri giorni.

Infine, una sezione di laboratorio, dedicata principalmente allo studio e alla programmazione reale e simulata degli apparati CISCO (switch e router) e al software Packet Tracer.

Caratteristiche dell'edizione Openschool

In questa edizione Openschool il testo è stato realizzato tenendo conto delle esigenze didattiche di docenti e studenti e della fruibilità del libro digitale. In particolare:

- la trattazione degli argomenti è snella e semplice, senza rinunciare alla loro completezza;
- sono riportate schede riassuntive (schede memo) al termine di ogni unità, con l'obiettivo di fornire agli studenti un utile strumento di ripasso e di memorizzazione dei concetti fondamentali dell'unità;
- sono inserite molte proposte di laboratorio (sia reale sia simulato), con l'adozione di un format specifico per le relative schede, in grado di rendere più efficace l'attività di laboratorio e costruire un utile riferimento per le relazioni sulle varie prove;
- nella trattazione sono proposte, come esempi, diverse simulazioni di sistemi di telecomunicazioni, con lo scopo di affiancare in modo puntuale lo studio teorico con l'attività laboratoriale;
- sono indicate le competenze, sia in termini generali riferiti all'indirizzo, all'articolazione e alla disciplina, sia quelle specifiche da sviluppare in ciascun anno di corso;
- per la verifica delle conoscenze sono proposti quesiti a risposta chiusa, interattivi attraverso l'eBook;
- sono inoltre disponibili materiali digitali, richiamati nel testo, strumenti per avviare un'attività CLIL sotto forma di schede MEMO ed esempi di esercitazioni con commento in inglese.

Area digitale

I materiali scaricabili sono indicati nelle pagine di apertura dei vari moduli e corrispondono alle seguenti tipologie:

-  **approfondimenti** relativi agli argomenti trattati nelle unità;
-  **schede Memo CLIL**;
-  **test di verifica interattivi a scelta multipla, vero/falso e a completamento**.

Materiali online hoepliscuola.it

Sul sito www.hoepliscuola.it sono presenti altri materiali aggiuntivi:

- esercizi risolti e proposti;
- **CLIL LAB**: esercitazioni e simulazioni in lingua inglese;
- **DOSSIER CLIL**: articoli tecnici di approfondimento in lingua inglese.

Competenze

Competenze generali relative all'indirizzo e all'articolazione

L'indirizzo *Informatica e Telecomunicazioni* ha lo scopo di far acquisire allo studente, al termine del percorso quinquennale, specifiche competenze nell'ambito del ciclo di vita del prodotto software e delle infrastrutture di telecomunicazioni, declinate in termini di capacità di ideare, progettare, produrre e inserire nel mercato componenti e servizi di settore.

In particolare, nell'articolazione "Telecomunicazioni", secondo le linee guida ministeriali, si acquisiscono competenze che caratterizzano il profilo professionale in relazione alle infrastrutture di telecomunicazioni e ai processi per realizzarle, con particolare riferimento agli aspetti innovativi e alla ricerca applicata.

Competenze generali relative alla disciplina

La disciplina *Telecomunicazioni* deve concorrere, nell'ambito della programmazione del consiglio di classe, al raggiungimento dei seguenti risultati di apprendimento, espressi in termini di competenze:

- scegliere dispositivi e strumenti in base alle loro caratteristiche funzionali;
- descrivere e comparare il funzionamento di dispositivi e strumenti elettronici e di telecomunicazioni;
- individuare e utilizzare gli strumenti di comunicazione e di team working più appropriati per intervenire nei contesti organizzativi e professionali di riferimento;
- utilizzare le reti e gli strumenti informatici nelle attività di studio, ricerca e approfondimento disciplinare;
- configurare, installare e gestire sistemi di elaborazione dati e reti;
- redigere relazioni tecniche e documentare le attività individuali e di gruppo relative a situazioni professionali;
- gestire progetti secondo le procedure e gli standard previsti dai sistemi aziendali di gestione della qualità e della sicurezza.

Competenze specifiche da sviluppare nel quinto anno di corso

Il Volume 3, proposto per il quinto anno, concorre allo sviluppo di specifiche competenze, nell'ambito dei risultati di apprendimento attesi al termine del corso:

- padronanza dei metodi di analisi delle reti di telecomunicazioni (moduli C, E ed F);
- padronanza dei metodi di internetworking nelle reti IP (modulo E);
- padronanza nell'uso della strumentazione di laboratorio per l'effettuazione delle misure fondamentali sulle reti IP (moduli D ed E);
- padronanza dei metodi di analisi nelle reti telefoniche sia analogiche sia numeriche (modulo A);
- sviluppo, a livello iniziale, delle capacità di analisi del comportamento e di misura delle grandezze caratteristiche delle reti di telecomunicazioni, mediante l'utilizzo di strumentazione reale.

L'OFFERTA DIDATTICA HOEPLI

L'edizione **Openschool** Hoepli offre a docenti e studenti tutte le potenzialità di Openschool Network (ON), il nuovo sistema integrato di contenuti e servizi per l'apprendimento.

Edizione **OPENSCHOOL**



LIBRO DI TESTO



Il libro di testo è l'**elemento cardine** dell'offerta formativa, uno strumento didattico **agile** e **completo**, utilizzabile **autonomamente** o in combinazione con il ricco **corredo digitale** offline e online. Secondo le più recenti indicazioni ministeriali, volume cartaceo e apparati digitali **sono integrati in un unico percorso didattico**. Le espansioni accessibili attraverso l'eBook+ e i materiali integrativi disponibili nel sito dell'editore sono puntualmente richiamati nel testo tramite apposite icone.

eBOOK+



L'**eBook+** è la versione digitale e interattiva del libro di testo, utilizzabile su **tablet**, **LIM** e **computer**. Aiuta a comprendere e ad approfondire i contenuti, rendendo l'apprendimento più attivo e coinvolgente. Consente di leggere, annotare, sottolineare, effettuare ricerche e accedere direttamente alle numerose **risorse digitali integrative**.
→ Scaricare l'eBook+ è molto **semplice**. È sufficiente seguire le istruzioni riportate nell'ultima pagina di questo volume.

RISORSE ONLINE



Il sito della casa editrice offre una ricca dotazione di **risorse digitali** per l'approfondimento e l'aggiornamento. Nella pagina web dedicata al testo è disponibile **MyBookBox**, il contenitore virtuale che raccoglie i materiali integrativi che accompagnano l'opera.
→ Per accedere ai materiali è sufficiente registrarsi al sito **www.hoepliscuola.it** e inserire il codice coupon che si trova nella terza pagina di copertina. **Per il docente** nel sito sono previste ulteriori risorse didattiche dedicate.

PIATTAFORMA DIDATTICA



La **piattaforma didattica** è un ambiente digitale che può essere utilizzato in modo duttile, a misura delle esigenze della classe e degli studenti. Permette in particolare di **condividere contenuti** ed **esercizi** e di partecipare a **classi virtuali**. Ogni attività svolta viene salvata sul **cloud** e rimane sempre disponibile e aggiornata. La piattaforma consente inoltre di consultare la versione online degli eBook+ presenti nella propria libreria.
→ È possibile accedere alla piattaforma attraverso il sito **www.hoepliscuola.it**.

Modulo A

Fondamenti di telefonia

- A1 Telefonia analogica
- A2 Telefonia digitale
- A3 Attività di laboratorio proposte

Obiettivi

Conoscenze

- Conoscere le caratteristiche fondamentali dei collegamenti telefonici.
- Conoscere le tecniche di trasmissione digitali dei segnali telefonici.
- Conoscere il concetto di rumore pesato.
- Conoscere le fasi della digitalizzazione di un segnale analogico.

Abilità

- Saper dimensionare un collegamento telefonico numerico.
- Saper misurare il rumore pesato su un collegamento telefonico.

Prerequisiti

- Conoscere i concetti di impedenza, circuito equivalente, attenuazione, adattamento.
- Conoscere i principi fondamentali dell'elettromagnetismo.
- Conoscere i principi generali della trasmissione numerica.

Area digitale



Approfondimento

- Compressore numerico



Esercizi



Soluzioni Puoi scaricare il file anche da

 hoeplicola.it

A1

Telefonia analogica

Il primo telefono della storia fu progettato e realizzato dall'italiano Antonio Meucci nel 1871, anche se la sua invenzione viene riconosciuta oltre un secolo più tardi. Altri inventori che hanno legato il proprio nome alla nascita del telefono sono l'inglese David Hughes, il tedesco Johann Philipp Reis, il valdostano Innocenzo Manzetti e lo statunitense Alexander Graham Bell.

A1.1 Il telefono

La telefonia è quella la parte delle telecomunicazioni che riguarda la trasmissione a distanza della voce.

Essendo impossibile trasmettere direttamente l'energia acustica a grande distanza, è necessario trasformarla in altre forme di energia, in modo da poter realizzare collegamenti aventi lunghezze adeguate alle esigenze degli utilizzatori.

La forma di energia che consente di raggiungere questo obiettivo è quella elettrica. Per trasmettere e ricevere la voce umana a distanza è pertanto necessario realizzare un apparato dotato di un trasduttore acustico-elettrico, cioè di un dispositivo che trasformi la voce in un segnale elettrico, e di un trasduttore elettro-acustico, cioè un dispositivo che compia l'operazione inversa, restituendo così il segnale acustico originario: l'apparato che effettua queste due trasformazioni è il **telefono**.

I primi esperimenti sulla realizzazione del telefono risalgono alla seconda metà dell'800, a opera dell'italiano **Antonio Meucci** il quale, nel 1871 realizzò il primo telefono della storia.

A causa delle sue precarie condizioni economiche, Meucci non riuscì a brevettare la sua invenzione (erano necessari 287 dollari che non aveva) e così nel 1876 lo statunitense **Alexander Graham Bell**, che conosceva il progetto di Meucci, depositò il brevetto appropriandosi impropriamente dell'invenzione del telefono.

Dopo più di un secolo, l'11 giugno del 2002, finalmente il Congresso USA ha ripristinato la "verità storica" assegnando ad Antonio Meucci l'invenzione del telefono.

I progressi furono molto rapidi, sia come miglioramento funzionale sia come diffusione, e all'inizio della prima guerra mondiale vennero sviluppati i primi sistemi telefonici in cui la connessione tra due utenti era automatica.

Nel telefono di Meucci sia il trasduttore acustico-elettrico, detto **microfono**, sia il trasduttore elettro-acustico, detto **ricevitore**, erano di tipo elettromagnetico. Il microfono era fondamentalmente formato da una membrana metallica circolare fissata ai bordi, libera di vibrare nella parte centrale, e disposta di fronte a un magnete permanente a ferro di cavallo, in modo che fra i relativi poli e la membrana rimanesse un sottile spazio detto **traferro**; intorno a tale magnete era inoltre avvolta una bobina di rame (**figura A1.1**)

La membrana, quando è investita da un'onda sonora (la voce umana) inizia a vibrare producendo variazioni del traferro e quindi del flusso magnetico, che genera una f.e.m. E ai capi della bobina (legge generale dell'induzione elettromagnetica): pertanto, nel

caso la bobina sia chiusa su un carico, in essa circola una corrente che riproduce fedelmente l'onda sonora incidente.

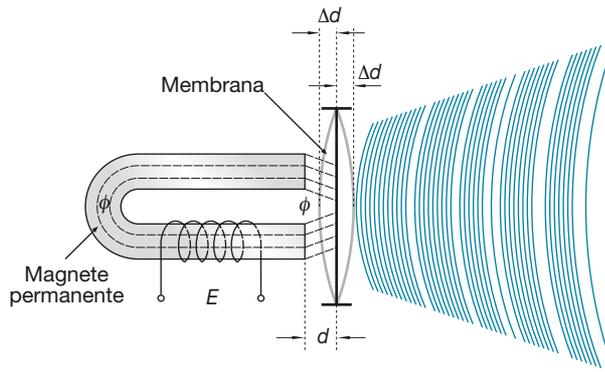


Figura A1.1
Ricevitore
elettromagnetico.

Lo stesso principio vale anche per il ricevitore, nel quale una tensione variabile applicata ai capi della bobina genera un flusso variabile nel circuito magnetico che mette in vibrazione la membrana, i cui spostamenti, seguendo le variazioni del flusso e quindi della tensione applicata, generano onde sonore.

L'insieme di questi due organi, collegati da una linea, costituisce un sistema telefonico analogo a quello ideato da Meucci (**figura A1.2**).

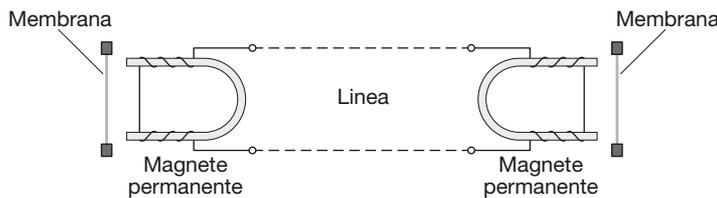


Figura A1.2
Principio di
funzionamento
del telefono
di Meucci.

Un sistema di questo genere ha però portata modesta a causa della scarsa sensibilità dei trasduttori.

Infatti, nel microfono una buona parte del lavoro delle forze di pressione viene persa per superare le forze elastiche della membrana che si oppongono al movimento, mentre nel ricevitore, essendo il circuito magnetico aperto, si ha una notevole dispersione del flusso; entrambe le trasformazioni hanno pertanto un rendimento limitato e quello complessivo risulta molto basso.

Per tali ragioni il microfono elettromagnetico, così come lo aveva concepito Meucci, fu presto abbandonato e sostituito da quello a carbone ideato da Hughes ed Edison.

L'apparecchio telefonico

Nella sua forma più semplice un apparecchio telefonico è formato da un microfono M in serie a un ricevitore R (**figura A1.3**), entrambi alimentati da una batteria locale B .

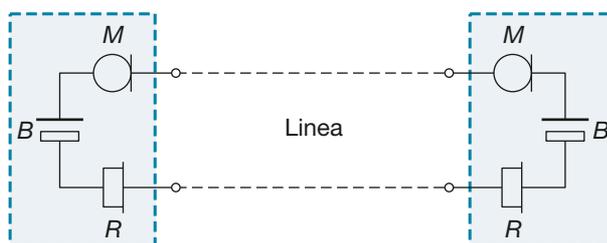


Figura A1.3
Schema di principio
di un apparecchio
telefonico.

Il microfono e il ricevitore sono montati in un unico complesso di materiale termoplastico, denominato **microtelefono**, a una distanza l'uno dall'altro di 15÷20 cm, in modo da adattarsi alle caratteristiche fisiche di una persona.

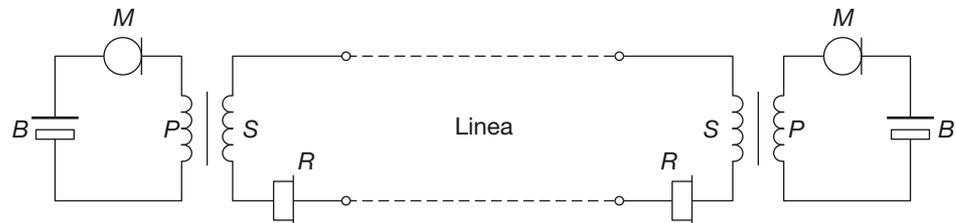
Lo schema di figura A1.3, simile a quello di Meucci, presenta però alcuni inconvenienti che non ne consentono un funzionamento ottimale.

Infatti, essendo il microfono direttamente connesso alla linea, la sua efficienza varia con la resistenza della linea stessa, cioè con la lunghezza del collegamento; è da osservare che essendo microfono e ricevitore collegati in serie, la corrente di alimentazione del primo, attraversando anche il secondo, causa una diminuzione dell'induzione del magnete permanente del ricevitore riducendone la sensibilità.

Inoltre, la corrente fonica emessa dal microfono attraversa il ricevitore e pertanto, sovrapponendosi al segnale ricevuto, può generare criticità nella comprensione della comunicazione, a causa del fenomeno “**effetto locale**”.

I primi due inconvenienti possono essere eliminati separando il microfono e il ricevitore mediante un trasformatore, denominato **bobina d'induzione**, chiudendo il primario P sul circuito microfonico e il secondario S su quello formato dal ricevitore e dalla linea esterna (**figura A1.4**).

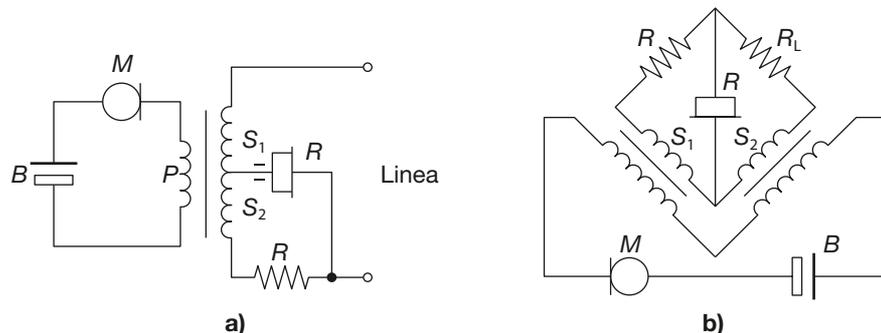
Figura A1.4
Bobina d'induzione.



Così facendo, infatti, la corrente di alimentazione microfonica non attraversa il ricevitore e l'efficienza del microfono non è più funzione della lunghezza della linea. Inoltre, essendo il numero delle spire del secondario superiore a quello delle spire del primario, la bobina funziona come un trasformatore elevatore, aumentando così la tensione microfonica di trasmissione.

L'effetto locale viene notevolmente ridotto mediante un dispositivo, denominato **antilocale**, realizzato suddividendo mediante una presa centrale il secondario della bobina d'induzione in due sezioni S_1 e S_2 , aventi la stessa resistenza e collegando il ricevitore come mostrato nella **figura A1.5 a**.

Figura A1.5
Dispositivo antilocale (a); equivalenza del dispositivo antilocale a un ponte di Wheatstone (b).



Con questa struttura circuitale il ricevitore è connesso sulla diagonale di un ponte di Wheatstone, alimentato induttivamente, tramite la bobina d'induzione disposta sull'altra diagonale, dalle tensioni generate dal microfono (**figura A1.5 b**).

Se il valore della resistenza R è uguale all'impedenza caratteristica della linea ($R_L = 600 \Omega$), avendo le due sezioni del secondario della bobina d'induzione la stessa resistenza, il ponte è in equilibrio e quindi la corrente generata dal microfono non attraversa il ricevitore.

Le tensioni generate dalle correnti foniche provenienti dalla linea, invece, squilibrano il ponte e possono così giungere al ricevitore.

Pur introducendo un'attenuazione dovuta all'assorbimento da parte della resistenza R , il dispositivo antilocale migliora notevolmente la qualità della comunicazione: il miglioramento è tanto maggiore quanto più R si avvicina alla resistenza caratteristica della linea.

La presenza della batteria di alimentazione nell'apparecchio costituisce un notevole inconveniente soprattutto in fase di manutenzione, quando si rende necessaria la sua sostituzione per guasto o esaurimento; per questo motivo l'alimentazione dell'apparecchio telefonico è realizzata direttamente dalla centrale locale alla quale è collegato, realizzando così un sistema denominato a "**Batteria Centrale Automatico (BCA)**".

Come indicato nella **figura A1.6**, un apparecchio BCA, oltre al sistema microfono-ricevitore (microtelefono), comprende altri organi che gli consentono di essere collegato a una centrale automatica e poter così stabilire automaticamente connessioni con altri utenti e ricevere direttamente chiamate.

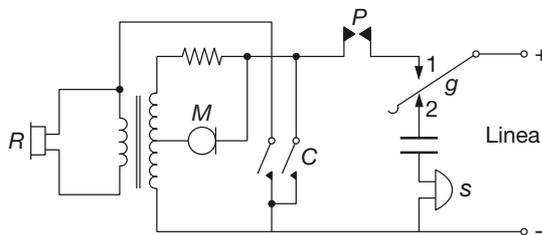


Figura A1.6

Schema di principio di un apparecchio a batteria centrale automatico.

Tali organi, in base alla funzione svolta, possono essere classificati come di seguito indicato.

- Il **gancio (g)**. Consente la connessione del sistema microfono-ricevitore e degli organi di chiamata alla linea, in modo da poter effettuare chiamate e rispondere alle chiamate entranti (posizione 1 corrispondente allo "sgancio" del microtelefono) e l'abbattimento della connessione (posizione 2 corrispondente al "riaggancio" del microtelefono).
- La **suoneria (S)**. È inserita in parallelo alla linea mediante un condensatore di accoppiamento, che ha la funzione di interrompere la corrente continua di alimentazione, lasciando passare quella alternata di chiamata (a 25 Hz) inviata dalla centrale in caso di chiamata. Negli apparecchi di ultima generazione la suoneria è di tipo elettronico e comprende un circuito che, attivato dal segnale di chiamata a 25 Hz, genera un segnale che pilota un trasduttore elettroacustico.
- L'**organo di selezione (P)**. Consente le chiamate in partenza, mediante comandi di selezione. Nei vecchi apparecchi BCA tale organo era realizzato con un disco combinatore a 10 fori numerati da 1 a 0, in grado di ruotare intorno al proprio asse. La selezione delle cifre avveniva durante la corsa di ritorno del disco, precedentemente ruotato fino alla cifra da selezionare, durante la quale erano generate interruzioni della corrente di alimentazione (impulsi decadici) in numero pari alla cifra selezionata.
- L'**interruttore di cortocircuito (C)**, normalmente aperto, si chiude durante la fase di ritorno del disco cortocircuitando tutti gli organi dell'apparecchio telefonico, rendendo così gli impulsi più netti ed evitando il disturbo che la selezione avrebbe provocato sul ricevitore.

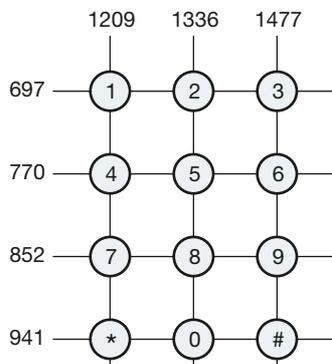
Essendo il disco combinatore molto lento (mediamente un secondo e mezzo per ogni cifra selezionata), è stato sostituito da un sistema a tastiera numerica, in cui la selezione è eseguita digitando la cifra da selezionare.

Inizialmente, con le centrali a selezione decadica per interruzione di linea, la tastiera si limitava a trasformare la cifra digitata nel numero di interruzioni corrispondenti a quelle ottenute con la selezione a disco: l'unico vantaggio della tastiera era pertanto quello di velocizzare e semplificare l'operazione di selezione sull'apparecchio telefonico.

L'avvento delle centrali numeriche ha consentito di utilizzare la tastiera multifrequenza, nella quale la selezione è effettuata mediante combinazioni di due frequenze, come mostrato nella **figura A1.7**.

Figura A1.7

Coppie di frequenze di una tastiera multifrequenza.



Per esempio, digitando il tasto 9 sono inviati in linea un segnale a 852 Hz e uno a 1477 Hz, che vengono rivelati da un sistema di filtri accordati sulle due frequenze di codice: ne deriva un sistema di selezione così veloce da fare apparire le connessioni quasi immediate.

Scheda A3.2, p. 43

A1.2 Caratteristiche dei collegamenti telefonici

Il gestore del servizio telefonico realizza l'impianto presso l'abitazione, l'ufficio o altro luogo, indicato da una persona fisica o Ente, che diventa così un suo utente o abbonato.

L'abbonato viene allacciato alla centrale telefonica più vicina (detta centrale di accesso o locale), alla quale sono collegati gli altri abbonati dello stesso centro urbano e/o area geografica, generalmente mediante una coppia di conduttori, comunemente denominata **doppino**.

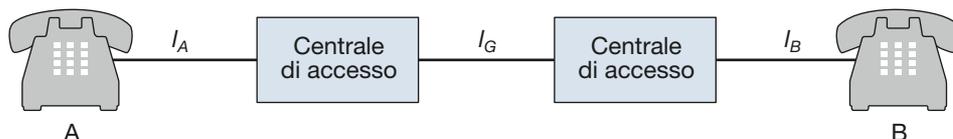
Gli abbonati possono collegarsi tra di loro mediante connessioni effettuate dalla centrale, in funzione dei numeri da essi selezionati: tale operazione è detta **commutazione** e i dispositivi che la realizzano prendono il nome di **commutatori** (unità C2).

In **figura A1.8** è mostrato un esempio di collegamento telefonico tra due abbonati *A* e *B* appartenenti a due diverse centrali di accesso, il quale è fondamentalmente costituito dalle seguenti sezioni:

- due linee di collegamento l_A e l_B degli utenti *A* e *B* con le relative centrali locali, dette **sezioni di accesso**;
- le linee di collegamento l_G tra le due centrali locali, dette **sezioni di giunzione**.

Figura A1.8

Schema di principio di un collegamento telefonico tra due abbonati appartenenti a centrali diverse.



Il collegamento telefonico della figura A1.8 può essere schematizzato con una cascata di quadripoli, nella quale i singoli stadi rappresentano gli elementi delle tre sezioni (due di accesso e una di giunzione) e da due bipoli agli estremi costituiti dagli apparecchi telefonici dei due utenti (**figura A1.9**).

Al fine di assicurare un'adeguata qualità del collegamento, è necessario rispettare una serie di prescrizioni (stabilite a livello internazionale) riguardanti le seguenti caratteristiche: **equivalente**, **larghezza di banda**, **tempo di propagazione**, **distorsioni**, **rumore** e **diafonia**, che di seguito verranno esaminate.



Figura A1.9
Catena di quadripoli equivalente al collegamento della figura A1.8.

A1.3 Equivalente

Si consideri il quadripolo della **figura A1.10 a** con l'ingresso connesso a un generatore di tensione E , avente impedenza interna \bar{Z}_i e l'uscita chiusa su un'impedenza di carico \bar{Z}_L . È definita **attenuazione composita** A_C il rapporto (espresso in dB) tra la potenza apparente P_L che il generatore erogherebbe direttamente su un'impedenza di carico pari a \bar{Z}_i (**figura A1.10 b**) e la potenza apparente P_U che il generatore eroga sull'impedenza \bar{Z}_L quando è interposto il quadripolo, cioè:

$$A_C = 10 \log \frac{P_L}{P_U}$$

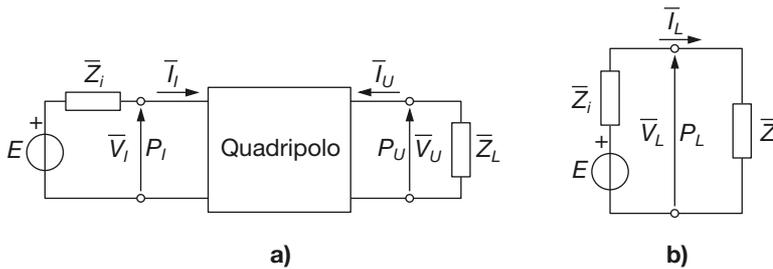


Figura A1.10
Connessione del generatore E all'impedenza \bar{Z}_L tramite il quadripolo (a); connessione diretta del generatore E all'impedenza \bar{Z}_L (b).

Con riferimento al circuito della **figura A1.10 b**, per il quale è soddisfatta la condizione di adattamento (impedenza interna del generatore uguale a quella di carico), tenendo presente che in tal caso $V_L = E/2$, si ha:

$$P_L = |\bar{V}_L| \cdot |\bar{I}_L| = |\bar{V}_L| \cdot \frac{|\bar{V}_L|}{|\bar{Z}_i|} = \frac{\left(\frac{E}{2}\right)^2}{|\bar{Z}_i|}$$

Con riferimento al circuito della **figura A1.10 a**, la potenza P_U vale:

$$P_U = |\bar{V}_U| \cdot |\bar{I}_U| = |\bar{V}_U| \cdot \frac{|\bar{V}_U|}{|\bar{Z}_L|} = \frac{|\bar{V}_U|^2}{|\bar{Z}_L|}$$

per cui risulta:

$$A_C = 10 \log \frac{P_L}{P_U} = 10 \log \frac{\frac{\left(\frac{E}{2}\right)^2}{|\bar{Z}_i|}}{\frac{|\bar{V}_U|^2}{|\bar{Z}_L|}} = 20 \log \frac{E}{|\bar{V}_U|} + 10 \log \frac{|\bar{Z}_L|}{|\bar{Z}_i|} \quad [A1.1]$$

Attenuazione composita

Dall'equazione [A1.1] si può osservare che l'attenuazione composta è data dalla somma di due termini, di cui il primo rappresenta il rapporto (in dB) tra la metà della tensione del generatore e il modulo della tensione di uscita V_U , e il secondo il rapporto tra l'impedenza di carico \bar{Z}_L e l'impedenza interna \bar{Z}_i del generatore.

Se $\bar{Z}_L = \bar{Z}_i$ il secondo termine della [A1.1] si annulla e l'attenuazione composta coincide con quella di tensione: il rapporto tra l'impedenza di carico e quella interna del generatore rappresenta quindi una "misura" di quanto l'attenuazione composta si discosta da quella di tensione ed è denominato termine di correzione delle impedenze.

Si definisce **equivalente** di un collegamento telefonico, indicato con E_q , l'attenuazione composta quando $\bar{Z}_L = \bar{Z}_i = 600 \Omega$, in cui \bar{Z}_L e \bar{Z}_i sono rispettivamente le impedenze di carico e l'impedenza interna del generatore all'ingresso del quadripolo equivalente del collegamento.

Dall'espressione dell'attenuazione composta si ha:

$$A_C = 20 \log \frac{\frac{E}{2}}{|V_U|} + 10 \log \frac{|\bar{Z}_L|}{|\bar{Z}_i|}$$

dalla quale, ponendo $\bar{Z}_L = \bar{Z}_i$, si può ricavare l'equivalente:

Equivalente

$$E_q \text{ (dB)} = 20 \log \frac{\left| \frac{E}{2} \right|}{|V_U|} \quad [\text{A1.2}]$$

Per avere una tensione di riferimento V_0 pari a 0,775 V, la misura dell'equivalente viene eseguita alimentando il collegamento con un generatore sinusoidale a 800 Hz, avente f.e.m. efficace di 1,55 V e impedenza interna $Z_i = 600 \Omega$ (Unità D2, Volume 1).

A1.4 Larghezza di banda

In generale per **larghezza di banda** di un canale di telecomunicazioni si intende l'intervallo di frequenze entro il quale sono comprese le armoniche del segnale da trasmettere con un'attenuazione ragionevolmente bassa.

Il numero di armoniche da trasmettere viene stabilito in base alla qualità della trasmissione da realizzare: per esempio, la fedeltà della riproduzione di una trasmissione dati è inferiore a quella richiesta da una trasmissione telefonica, mentre quest'ultima richiede una fedeltà di riproduzione inferiore a quella richiesta a una trasmissione musicale. Per convenzione, un'armonica è da considerarsi effettivamente trasmessa (cioè contenuta all'interno del canale) quando il suo livello assoluto di potenza in ricezione non differisce per più di 8,7 dB dal livello assoluto che si ottiene, sempre in ricezione, trasmettendo la frequenza di 800 Hz. Considerazioni teorico pratiche hanno portato a stabilire, da parte dell'ITU, che per i circuiti telefonici la larghezza di banda sia compresa tra 300 Hz e 3400 Hz.

Poiché in passato la trasmissione telefonica veniva realizzata moltiplicando più canali FDM, era necessario in ricezione separare tali canali mediante adeguati filtri passa banda, i quali per essere fisicamente realizzabili necessitavano di una regione di transizione di estensione apprezzabile: ciò ha determinato l'esigenza di definire una banda lorda del canale telefonico compresa tra 0 e 4000 Hz, in modo tale che tra due canali contigui fosse presente un intervallo di frequenze, detto **banda di guardia**, pari a 900 Hz, come mostrato nella **figura A1.11**.

La limitazione in banda di un canale telefonico tra 300 e 3400 Hz è dunque uno dei motivi per i quali la connessione telefonica di un computer a un fornitore di connettività numerica (per esempio un provider Internet) richiede l'uso di un dispositivo (il modem) che effettui una modulazione sul segnale da trasmettere.

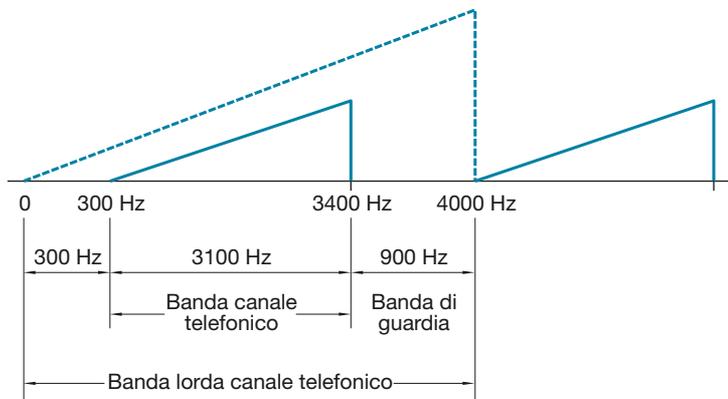


Figura A1.11

Canale telefonico.

A1.5 Tempo di propagazione

I segnali elettrici, per propagarsi da un estremo a un altro di un collegamento impiegano un certo tempo, detto **tempo di propagazione** o di **transito**, dato dalla somma dei tempi di propagazione di tutte le sezioni interessate; le raccomandazioni ITU prevedono che tale tempo non superi i 400 ms alla frequenza di 800 Hz.

A1.6 Distorsioni

Un collegamento telefonico genera inevitabilmente alterazioni sulla forma d'onda del segnale a causa delle distorsioni introdotte dai mezzi trasmissivi utilizzati. Infatti, ogni mezzo trasmissivo, che per sua natura presenta caratteristiche filtranti, è caratterizzato da una larghezza di banda B , che limita lo spettro del segnale trasmesso attenuandone, in maniera anche notevole, le componenti alle frequenze più alte e più basse, (distorsione di ampiezza).

Inoltre, essendo i tempi di propagazione delle varie componenti spettrali del segnale trasmesso funzione della frequenza, in ricezione esse non arrivano contemporaneamente, generando così una distorsione di fase: il segnale di ricezione risulta pertanto distorto rispetto a quello trasmesso degradando, insieme al rumore, la qualità del collegamento.

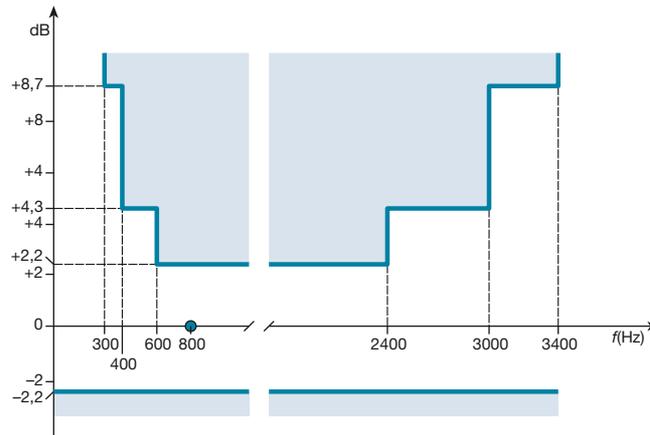
Distorsione di ampiezza

Un collegamento telefonico è privo di distorsione di ampiezza, quando all'interno della banda fonica l'attenuazione è costante al variare della frequenza: con questa condizione, infatti, tutte le frequenze della banda risultano ugualmente attenuate.

In altre parole, essendo l'attenuazione di un collegamento telefonico misurata come equivalente, esso è esente da distorsione di ampiezza se il suo equivalente, all'interno della banda fonica, è costante con la frequenza.

A tal proposito esistono precise norme stabilite dall'ITU, secondo le quali l'andamento dell'equivalente in funzione della frequenza deve essere contenuto entro la maschera mostrata nella **figura A1.12**, nella quale sono indicati i massimi scarti dell'equivalente consentiti alle frequenze comprese nella banda 300÷3400 Hz rispetto al valore a 800 Hz: ne consegue che in corrispondenza della frequenza di 800 Hz la curva passa per lo zero.

Figura A1.12
Maschera
equivalente-
frequenza per
un collegamento
telefonico.



Distorsione di fase

A differenza della distorsione di ampiezza, la distorsione di fase di un collegamento telefonico non assume un ruolo rilevante in quanto l'orecchio umano, almeno entro certi limiti, non è particolarmente sensibile alle variazioni di fase.

In ogni caso, in considerazione del fatto che i circuiti telefonici possono essere impiegati anche per altri servizi, quali per esempio la trasmissione di dati e immagini, l'ITU ha definito anche per questo parametro dei limiti.

A tal proposito, indicando con t_{300} il valore del tempo di propagazione del collegamento alla frequenza di 300 Hz, con t_{3400} quello relativo alla frequenza di 3400 Hz e con t_{\min} il più piccolo valore del tempo di propagazione riscontrato entro la banda 300÷3400 Hz, devono essere rispettate le seguenti relazioni:

$$t_{300} - t_{\min} \leq 60 \text{ ms}$$

$$t_{3400} - t_{\min} \leq 30 \text{ ms}$$

Distorsione armonica

Le distorsioni di ampiezza e di fase sono dette distorsioni lineari, in quanto sono presenti anche nel caso i vari elementi che costituiscono il collegamento abbiano caratteristica lineare.

La distorsione armonica si manifesta, invece, quando sono presenti elementi non lineari e per tale motivo viene anche detta distorsione **non-lineare** (unità A3, volume 2).

A causa della non linearità il segnale in ricezione comprende armoniche non presenti nel segnale d'origine, con conseguente modifica del timbro della voce.

Per esempio, applicando all'inizio di un collegamento telefonico una tensione sinusoidale V , all'estremo opposto la tensione non è sinusoidale, ma risulta costituita da un certo numero di componenti sinusoidali, che dipendono dal tipo di non linearità.

A1.7 Rumore

Come visto nell'unità A4 del volume 2, in un qualsiasi sistema di telecomunicazioni, e quindi anche in un collegamento telefonico, il segnale contenente l'informazione è inevitabilmente alterato dalla presenza del rumore, un segnale parassita avente un andamento casuale e completamente privo di informazione, che contribuisce al degrado del segnale utile. In base alle cause che lo producono, il rumore può essere così classificato:

- rumore legato alla costituzione della materia, come per esempio il rumore termico, caratterizzato da uno spettro uniforme (rumore bianco), la cui potenza dipende dalla

temperatura assoluta T_e e dalla larghezza di banda B del collegamento secondo la relazione:

$$P = KTB$$

dove $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K è la costante di Boltzmann;

- rumore indotto da altri circuiti, come per esempio quello relativo ai circuiti telefonici (diafonia non intelligibile paragrafo A1.8);
- rumore discontinuo derivante da contatti difettosi o da saldature fredde;
- ronzio di alternata dovuto alla tensione di ondulazione residua degli alimentatori dei circuiti elettronici;
- rumore in entrata, cioè non generato all'interno del collegamento, come per esempio il rumore di sala, dovuto alla rumorosità dell'ambiente in cui si trova l'apparecchio telefonico;
- rumore di fondo dei componenti attivi presenti negli apparati che formano la catena di trasmissione.

Qualunque sia la sua origine, il rumore ha l'effetto di ridurre l'intelligibilità della conversazione e in generale di peggiorare la qualità del collegamento.

Per studiare l'effetto del rumore su un collegamento telefonico è necessario conoscere le caratteristiche dell'orecchio umano il quale, come noto, è l'organo utilizzato per la percezione dei suoni e per la loro trasformazione in stimoli nervosi. L'orecchio umano non è in grado di percepire suoni di qualsiasi frequenza, ma solo quelli compresi tra circa 20 e 15000 Hz e inoltre la sua sensibilità varia notevolmente al variare della frequenza.

Sperimentalmente si è visto che per ogni frequenza esiste un minimo di energia udibile e un valore massimo di energia sopportabile: riportando in un sistema di assi cartesiani i punti corrispondenti a questi valori di energia in funzione della frequenza, si ricavano due curve che prendono il nome, rispettivamente, di **soglia di udibilità** (curva *a*) e **soglia del dolore** (curva *b*).

Il diagramma che ne risulta (**figura A1.13**) viene denominato **audiogramma normale medio** (o di **Fletcher**) in quanto ricavato dalla media di misure eseguite su un adeguato numero di persone dall'udito normale.

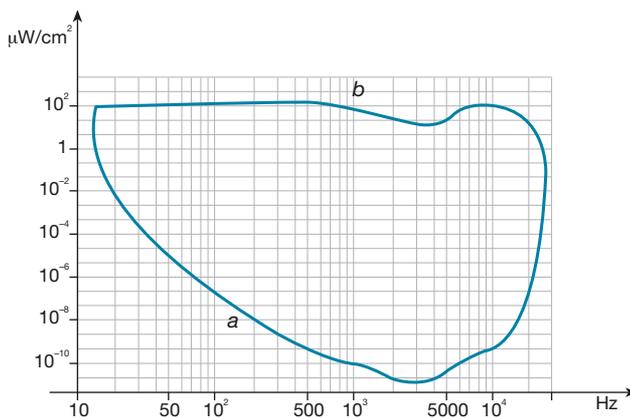


Figura A1.13
Audiogramma normale medio (o di Fletcher).

L'area compresa fra la soglia di udibilità e la soglia del dolore è detta **area totale di audizione**.

Dall'audiogramma normale medio, si può osservare che l'orecchio umano è più sensibile alle frequenze intorno ai 3000 Hz: pertanto, per udire per esempio un suono a 400 Hz, è necessario che la sua intensità energetica sia maggiore di quella di un segnale a 3000 Hz.

Tenuto conto dell'esempio sopra indicato e delle caratteristiche non lineari del microfono e del ricevitore (maggiore sensibilità alle frequenze comprese tra 800 e 1000 Hz),

appare evidente che la valutazione della tensione di rumore non può essere effettuata considerando tutte le frequenze allo stesso modo.

In considerazione di quanto detto sopra, per i circuiti telefonici è stato introdotto il **rumore pesato**, assegnando un peso diverso alle varie componenti in funzione della loro frequenza.

A tal proposito si definisce **peso psfometrico** quel numero, variabile da frequenza a frequenza, per il quale si deve dividere il valore della tensione di rumore a una certa frequenza, per ottenere il valore di tensione alla frequenza di 800 Hz che provoca all'orecchio lo stesso disturbo, cioè:

Peso psfometrico

$$P_n = \frac{V_n}{V_{800}} \quad [A1.2]$$

dove V_n indica la tensione di rumore a una certa frequenza, P_n il peso psfometrico e V_{800} la tensione di riferimento a 800 Hz.

I valori dei pesi psfometrici attribuiti alle frequenze della banda telefonica sono indicati nella **tabella A1.1**, dalla quale si può osservare che, a eccezione della frequenza 1000 Hz, per provocare lo stesso disturbo le varie frequenze devono avere un livello sempre maggiore rispetto a quello di riferimento a 800 Hz.

Tabella A1.1

Pesi psfometrici.

frequenza (Hz)	pesi psfometrici (telefonici)
50	1400
100	112
150	28,2
200	11,2
300	3,4
400	2,07
500	1,51
600	1,26
800	1
1000	0,89
1500	1,16
2000	1,41
2500	1,62
3000	1,90
3500	2,66
4000	5,60
5000	63

Per esempio, essendo il peso per la frequenza di 400 Hz pari a 2,07 (tabella A1.1), una tensione di 1 mV a 400 Hz produce all'orecchio lo stesso disturbo di una tensione di $1/2,07 = 0,48$ mV a 800 Hz. Inoltre, essendo il peso relativo alla frequenza di 1000 Hz inferiore a 1, un disturbo a 1000 Hz è più nocivo di un disturbo a 800 Hz: per esempio una tensione di 1 V a 1000 Hz produce lo stesso disturbo di una tensione di $1/0,89 = 1,12$ V a 800 Hz.

Poiché è consuetudine esprimere i pesi in dB, dalla [A1.2] si ha:

Peso psfometrico espresso in dB

$$P_n(\text{dB}) = 20 \log \frac{V_n}{V_{800}} \quad [A1.3]$$

Spesso si preferisce considerare l'inverso dei pesi e quindi dalla [A1.2] si ottiene l'espressione:

Inverso del peso psfometrico espresso in dB

$$\frac{1}{P_n}(\text{dB}) = 20 \log \frac{V_{800}}{V_n} \quad [A1.4]$$

Naturalmente, se la [A1.3] fornisce un valore positivo, la [A1.4] fornisce un valore negativo.

Dai valori riportati nella tabella A1.1 mediante la [A1.4] si può ricavare la curva di **figura A1.14**, detta curva dei pesi psfometrici; nella stessa figura è indicata anche la curva relativa ai circuiti musicali.

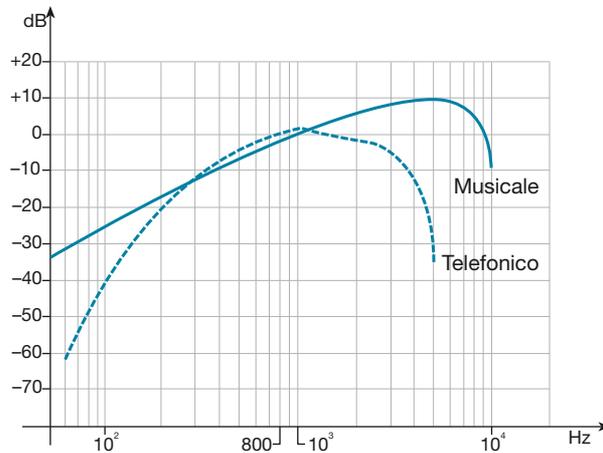


Figura A1.14
Curva dei pesi psfometrici.

Il valore efficace di un rumore pesato è dato dalla radice quadrata della somma dei quadrati dei valori pesati di ogni frequenza che lo compone, cioè:

$$V = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_n^2} \quad [A1.5]$$

Valore efficace del rumore pesato

dove V_1, V_2, \dots, V_n indicano il valore efficace della tensione di rumore a una certa frequenza diviso per il relativo peso.

Analoghe considerazioni valgono per i circuiti musicali, nei quali la banda è compresa tra 50 e 10⁴ Hz e la pesatura delle varie componenti è diversa.

Psfometro

Lo strumento mediante il quale sono effettuate le misure di rumore pesato è denominato **psfometro** (**figura A1.15**), fondamentalmente costituito da un millivoltmetro a larga banda in grado di misurare il valore efficace di forme d'onda non sinusoidali, preceduto da un filtro, detto **filtro psfometrico**, caratterizzato da un'attenuazione variabile con la frequenza secondo l'equazione [A1.3].

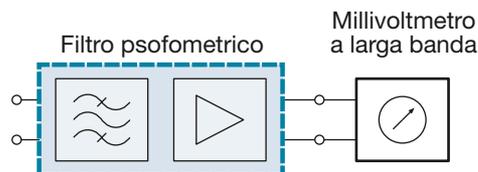


Figura A1.15
Schema a blocchi di un psfometro.

Applicando per esempio all'ingresso del filtro psfometrico una tensione sinusoidale V_n a frequenza f_n , alla sua uscita si ottiene la stessa tensione divisa per il rispettivo peso, cioè V_n/p_n e quindi il millivoltmetro misura la tensione pesata di rumore.

Pertanto, se all'ingresso del filtro è applicata una tensione di rumore avente una forma d'onda non sinusoidale, alla sua uscita le varie componenti vengono divise per i corrispondenti pesi: così facendo il millivoltmetro misura il valore efficace della tensione di rumore pesato in funzione della sensibilità dell'orecchio umano.

Poiché il peso (in dB) è nullo a 800 Hz e assume valori positivi fino a circa 1000 Hz, oltre a una rete elettrica di soli elementi passivi è necessaria anche la presenza di un amplificatore (figura A1.15).

A1.8 Diafonia

Fino a ora è stato considerato il caso di un singolo collegamento, ma in realtà nel medesimo mezzo trasmissivo, come per esempio un cavo a coppie simmetriche, coesistono più circuiti telefonici, e pertanto può accadere che una frazione del segnale utile di uno venga indotta su un altro, originando così interferenze reciproche.

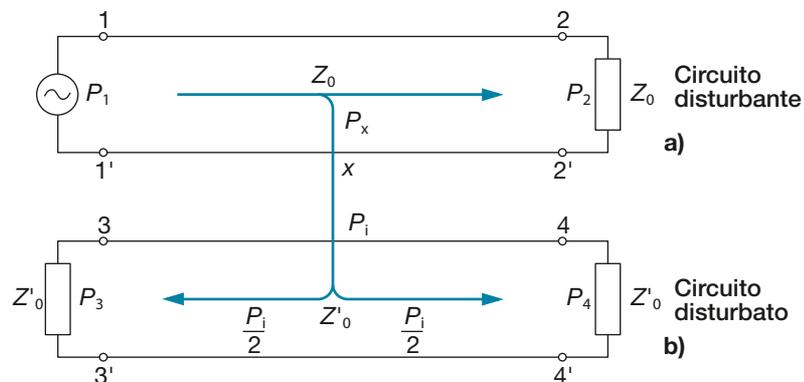
Tale fenomeno, detto **diafonia**, è fondamentalmente dovuto alla presenza di impedenze parassite di accoppiamento (come capacità e mutue induttanze) tra i vari circuiti costituenti il mezzo trasmissivo.

Nel caso l'effetto della diafonia sia tale che su un circuito è possibile comprendere la conversazione tra due abbonati che parlano su un altro circuito, la diafonia è detta **intelligibile**, mentre se il segnale trasferito è incomprensibile, è detta diafonia **non intelligibile**.

Per una valutazione quantitativa dell'entità della diafonia è necessario introdurre il concetto di **attenuazione di diafonia**.

A tal proposito si considerino due collegamenti telefonici costituiti da due tronchi di linea bifilare, i quali, per evitare riflessioni, sono chiusi sulle proprie impedenze caratteristiche (figura A1.16); si supponga inoltre, che uno dei due circuiti, detto **circuito disturbante** (avente impedenza caratteristica \bar{Z}_0) trasferisca all'altro, detto **circuito disturbato** avente impedenza caratteristica \bar{Z}'_0 , una parte del segnale trasmesso verso il proprio carico \bar{Z}_0 , attraverso un solo punto x di accoppiamento.

Figura A1.16
Quadripoli rappresentanti due circuiti telefonici mutuamente accoppiati. Circuito disturbante (a); circuito disturbato (b).



Con tale ipotesi il segnale indotto sul collegamento disturbato nel punto x si divide in due parti uguali trasferendosi sui due carichi aventi entrambi la stessa impedenza \bar{Z}'_0 .

Indicando con P_x la potenza del segnale che si ha nel punto x sul primo circuito e con P_i la potenza indotta sul secondo circuito, si definisce **attenuazione di diafonia intrinseca** A_{di} il rapporto espresso in dB:

$$A_{di} = 10 \log \frac{P_x}{\frac{1}{2} P_i} \quad [A1.6]$$

Attenuazione di diafonia intrinseca

Poiché il disturbo indotto interessa sia i morsetti 3-3' vicini al generatore (**paradiafonia** o **diafonia vicina**) sia i morsetti 4-4' lontani dal generatore (**telediafonia** o **diafonia lontana**), è possibile definire due parametri di diafonia: **attenuazione di paradiafonia** e **attenuazione di telediafonia**.

Precisamente si definisce:

- attenuazione di paradiafonia A_p l'espressione:

$$A_p = 10 \log \frac{P_1}{P_3} \quad [A1.7]$$

Attenuazione di paradiafonia

- dove P_1 indica la potenza apparente erogata dal generatore ai morsetti 1-1' e P_3 la frazione di potenza apparente di disturbo ai capi dei morsetti 3-3';
- attenuazione di telediafonia A_t l'espressione:

$$A_t = 10 \log \frac{P_1}{P_4} \quad [A1.8]$$

Attenuazione di telediafonia

in cui P_1 indica la potenza apparente erogata dal generatore ai morsetti 1-1' e P_4 la frazione di potenza apparente di disturbo ai capi dei morsetti 4-4'.

La conoscenza dell'attenuazione di paradiafonia e telediafonia, senza un riferimento relativo al segnale utile, non è però sufficiente per valutare l'effetto del disturbo di diafonia, in quanto nel circuito non sono tanto importanti i livelli dei segnali utili e dei disturbi, ma il loro rapporto.

Per tale ragione, allo scopo di valutare correttamente gli effetti prodotti dalla diafonia, sono stati introdotti i parametri di **scarto di paradiafonia** (S_p) e **scarto di telediafonia** (S_t), definiti dalla differenza (in dB) tra il livello nominale dei segnali utili e quelli di diafonia.

Per ricavare l'espressione dello scarto di paradiafonia si considerino i segnali di due linee di trasmissione bifilari che viaggiano in sensi opposti (**figura A1.17**) in cui:

- l_1, l_2, l_3 e l_4 rappresentano i livelli nominali (in dB) dei segnali utili rispettivamente ai morsetti 1-1', 2-2', 3-3' e 4-4';
- A_p è l'attenuazione in dB di paradiafonia;
- l_p è il livello del segnale di paradiafonia ai capi dei morsetti 3-3';
- A_d è l'attenuazione in dB del circuito disturbato.

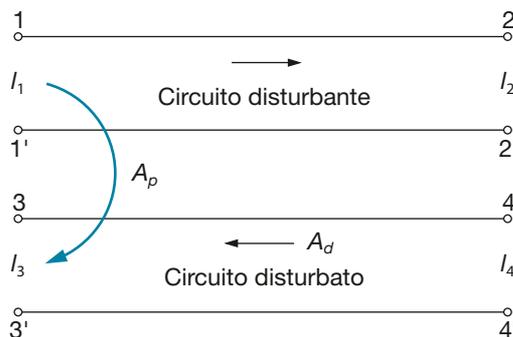


Figura A1.17
Collegamenti telefonici trasmettenti in direzioni opposte per determinare lo scarto di paradiafonia.

Per definizione lo scarto di paradiafonia risulta:

$$S_p = l_3 - l_p \quad [A1.9]$$

Scarto di paradiafonia

Essendo:

$$l_p = l_1 - A_p$$

$$l_3 = l_4 - A_d$$

Scarto di paradiafonia in funzione dei livelli di trasmissione

sostituendo nella [A1.9] entrambe le precedenti equazioni si ottiene:

$$S_p = l_4 - A_d - l_1 + A_p \quad [A1.10]$$

Nel caso i due circuiti presentino uguali livelli nominali in trasmissione, cioè $l_1 = l_4$, la [A1.10] diventa:

$$S_p = A_p - A_d \quad [A1.11]$$

ovvero, se i due circuiti hanno livelli di trasmissione uguali, lo scarto di paradiafonia è pari all'attenuazione di paradiafonia diminuita dell'attenuazione del circuito disturbato.

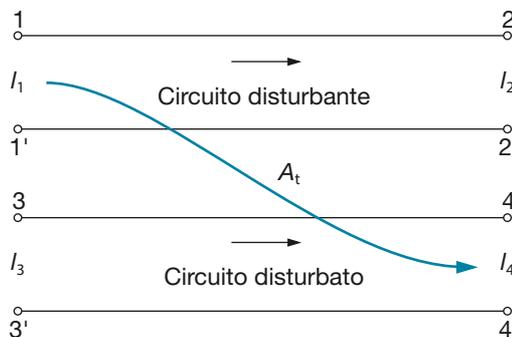
Analogamente, considerando i segnali trasmessi nello stesso senso, come indicato in **figura A1.18**, si può ricavare una relazione analoga per lo scarto di telediafonia, ottenendo:

Scarto di telediafonia

$$S_t = l_3 - A_d - l_1 + A_t \quad [A1.12]$$

Figura A1.18

Collegamenti telefonici trasmettenti nella stessa direzione per determinare lo scarto di telediafonia.



Anche in questo caso, se i due collegamenti trasmettono con gli stessi livelli, la [A1.12] diventa:

$$S_t = A_t - A_d \quad [A1.13]$$

Scarto di telediafonia con livelli uguali di trasmissione

Dalle relazioni [A1.10] e [A1.12] si può osservare che, in generale, gli scarti di telediafonia e paradiafonia dipendono sia dalle caratteristiche intrinseche dei collegamenti A_p o A_t e A_d , sia dai livelli nominali di trasmissione dei segnali utili: nel caso però tali livelli siano uguali, essi dipendono unicamente dalle caratteristiche dei collegamenti.

È inoltre importante sottolineare che per garantire una buona qualità di trasmissione le norme ITU prescrivono uno scarto minimo di telediafonia e paradiafonia intellegibile di 58 dB, mentre quella non intellegibile è considerata rumore.

ESEMPIO 1

Due linee telefoniche bifilari trasmettono entrambe un segnale avente un livello pari a -10 dB.

Nel caso lo scarto di paradiafonia sia 70 dB, determinare:

- la potenza di trasmissione del segnale utile;
- la potenza indotta per paradiafonia;
- l'attenuazione di paradiafonia.

■ a) La potenza del segnale utile vale:

$$P = P_0 \cdot 10^{\frac{\text{dB}}{10}} = 10^{-3} \cdot 10^{\frac{10}{10}} = 100 \mu\text{W}$$

b) Con riferimento alla figura A1.16, il livello del segnale di paradiafonia risulta:

$$l_p = l_3 - S_p = -10 - 70 = -80 \text{ dB}$$

da cui si può determinare la potenza indotta per paradiafonia che vale:

$$P_p = 10^{-3} \cdot 10^{\frac{\text{dB}}{10}} = 10^{-3} \cdot 10^{\frac{-80}{10}} = 10 \text{ pW}$$

c) L'attenuazione di paradiafonia si può calcolare con la [A1.7]:

$$A_p = 10 \log \frac{P}{P_p} = 10 \log \frac{100 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-12}} = 70 \text{ dB}$$

Due linee telefoniche vicine tra loro, di lunghezza $l = 10 \text{ km}$, presentano un'attenuazione kilomtrica pari a $0,8 \text{ dB/km}$ e trasmettono entrambe un segnale avente un livello di -15 dB .

ESEMPIO 2

Nel caso lo scarto di telediafonia sia $S_t = 70 \text{ dB}$, e quello di paradiafonia $S_p = 65 \text{ dB}$, determinare:

- l'attenuazione di paradiafonia;
- l'attenuazione di telediafonia;
- la potenza indotta per paradiafonia;
- la potenza indotta per telediafonia.

■ a) Poiché entrambe le linee telefoniche trasmettono un segnale dello stesso livello, l'attenuazione di paradiafonia può essere calcolata con la [A1.11], previa determinazione dell'attenuazione A_d della linea disturbata. Essendo:

$$A_d = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ dB}$$

si ha:

$$A_p = S_p + A_d = 65 + 8 = 73 \text{ dB}$$

b) Analogamente l'attenuazione di telediafonia per la [A1.13] risulta:

$$A_t = S_t + A_d = 70 + 8 = 78 \text{ dB}$$

c) Con riferimento alla figura A1.17, la potenza indotta per paradiafonia è:

$$l_p = l_3 - S_p = -15 - 65 = -80 \text{ dB} = 10^{-3} \cdot 10^{\frac{-80}{10}} = 10 \text{ pW}$$

d) Con riferimento alla figura A1.18, la potenza indotta per telediafonia risulta:

$$l_t = l_4 - S_t = -15 - 70 = -85 \text{ dB} = 10^{-3} \cdot 10^{\frac{-85}{10}} = 3,2 \text{ pW}$$

Telefonia analogica

- **Telefonia:** settore delle telecomunicazioni che riguarda la trasmissione a distanza della voce e, più in generale, dei segnali sonori tramite il telefono.
- **Telefono:** dispositivo che effettua la trasduzione acustico-elettrica ed elettro-acustica, consentendo in trasmissione di trasformare la voce umana in segnale elettrico, e in ricezione di trasformare il segnale elettrico ricevuto nel segnale acustico originario.
- **Microtelefono:** complesso termoplastico contenente il microfono e il ricevitore.
- **Sistema a batteria centrale automatico (BCA):** sistema di alimentazione dell'apparecchio telefonico direttamente collegato alla centrale.
- **Larghezza di banda di un canale telefonico:** banda del canale telefonico che si estende da 300 a 3400 Hz.
- **Equivalentente:** attenuazione composta di un collegamento telefonico che si verifica quando l'impedenza di carico e l'impedenza interna del generatore d'ingresso del collegamento sono entrambe pari a 600Ω .
- **Tempo di propagazione:** tempo che il segnale fonico impiega per propagarsi da un estremo all'altro del collegamento telefonico.
- **Distorsione:** alterazione della forma d'onda del segnale fonico, introdotta dal mezzo trasmissivo che realizza il collegamento telefonico; la distorsione può essere: di ampiezza, di fase e armonica.
- **Rumore:** segnale parassita caratterizzato da un andamento casuale e privo di informazione, inevitabilmente presente in qualsiasi sistema di telecomunicazioni, che contribuisce al degradamento del segnale fonico.
- **Peso psfometrico:** numero variabile da frequenza a frequenza, per il quale si deve dividere il valore della tensione di rumore, avente una certa frequenza, per ottenere il valore di tensione alla frequenza di 800 Hz che provoca all'orecchio lo stesso disturbo.
- **Diafonia:** effetto che si verifica quando coesistono nello stesso mezzo trasmissivo più circuiti telefonici (per esempio in un cavo a coppie simmetriche) e una frazione del segnale utile di uno viene indotto su un altro e viceversa, originando così interferenze reciproche; la diafonia può essere: intelleggibile, quando in un circuito si può comprendere la conversazione di due abbonati che parlano su un altro circuito, e non intelleggibile, quando il segnale trasferito è incomprensibile.

Test di verifica

1 Quesiti a risposta aperta

1. Cos'è la telefonia?
2. Descrivere brevemente il telefono di Meucci.
3. Cos'è il microtelefono?
4. Cos'è "l'effetto locale"?
5. Qual è l'effetto della bobina d'induzione?
6. Quali sono gli organi di un apparecchio telefonico BCA?
7. Qual è la funzione del gancio in un apparecchio telefonico BCA?
8. Cos'è la commutazione?
9. Cos'è l'equivalente?
10. Quanto vale la larghezza di banda di un canale telefonico?
11. Cos'è il tempo di propagazione?
12. Cosa sono le soglie di udibilità e del dolore?
13. Per quale ragione viene introdotto il rumore pesato?
14. Cos'è il peso psfometrico?
15. Descrivere brevemente lo psfometro.
16. Cos'è la diafonia?
17. Cos'è l'attenuazione di paradiafonia?
18. Quali sono le principali tipologie di rumore in un circuito telefonico?



2 Quesiti a scelta multipla

Scegliere la risposta corretta tra quelle proposte.

1. La linea di collegamento tra l'apparecchio telefonico di un utente e la relativa centrale è detta:

- | | | | |
|----------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|
| <input type="checkbox"/> a | sezione di giunzione. | <input type="checkbox"/> b | sezione di accesso. |
| <input type="checkbox"/> c | sezione di commutazione. | <input type="checkbox"/> d | sezione di selezione. |

2. Affinché un collegamento telefonico sia privo di distorsione di ampiezza, è necessario che all'interno della banda fonica sia introdotta un'attenuazione:

- | | | | |
|----------------------------|---|----------------------------|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> a | costante al variare del tempo. | <input type="checkbox"/> b | variabile linearmente con il tempo. |
| <input type="checkbox"/> c | variabile linearmente con la frequenza. | <input type="checkbox"/> d | costante al variare della frequenza. |

3. L'orecchio umano è in grado di percepire suoni a frequenza compresa tra circa:

- | | | | |
|----------------------------|-----------------|----------------------------|--------------------|
| <input type="checkbox"/> a | 20 e 15 000 Hz | <input type="checkbox"/> b | 1000 e 3000 Hz |
| <input type="checkbox"/> c | 100 e 30 000 Hz | <input type="checkbox"/> d | 15 000 e 50 000 Hz |

4. Nel caso l'effetto provocato dalla diafonia sia tale che su un circuito è possibile comprendere la conversazione tra due abbonati che parlano su di un altro circuito, si è in presenza di:

- | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|
| <input type="checkbox"/> a | diafonia non intelligibile. | <input type="checkbox"/> b | diafonia amplificata. |
| <input type="checkbox"/> c | diafonia intelligibile. | <input type="checkbox"/> d | diafonia indotta. |

5. L'orecchio umano è più sensibile alle frequenze intorno ai:

- a 9000 Hz b 1000 Hz
 c 500 Hz d 3000 Hz

6. Nella tastiera multifrequenza la selezione è effettuata mediante combinazioni di:

- a 3 frequenze.
 b 4 frequenze.
 c 2 frequenze.
 d 6 frequenze.

7. Le linee di collegamento tra due centrali locali, sono dette:

- a sezioni di giunzione
 b sezioni di derivazione.
 c sezioni di accoppiamento.
 d sezioni di collegamento.



3 Quesiti vero/falso

1. Nel telefono di Meucci sia il microfono che il ricevitore erano di tipo elettromagnetico. V F
2. Le distorsioni di ampiezza e di fase sono distorsioni lineari. V F
3. La distorsione armonica è di tipo lineare. V F
4. Lo scarto di paradiafonia è pari all'attenuazione di paradiafonia diminuita dell'attenuazione del circuito disturbato. V F
5. Un collegamento telefonico può essere considerato come una cascata di quadripoli. V F
6. I tempi di propagazione delle varie componenti spettrali del segnale trasmesso dipendono dalla frequenza. V F



4 Quesiti a completamento

intelligibilità • psfometro • distorsioni • qualità • impedenze parassite • antilocale • conversazione • 800 • forma d'onda • variazioni di fase • mezzo trasmissivo • non assume • area totale di audizione • 400

1. L'effetto locale viene notevolmente ridotto mediante un dispositivo, denominato
2. Un collegamento telefonico genera inevitabilmente alterazioni sulla del segnale a causa delle da esso introdotte.
3. A differenza della distorsione di ampiezza, la distorsione di fase di un collegamento telefonico un ruolo rilevante in quanto l'orecchio umano, almeno entro certi limiti, non è particolarmente sensibile alle
4. Qualunque sia la sua origine il rumore ha l'effetto di ridurre la della e in generale di peggiorare la del collegamento.
5. L'area compresa fra la soglia di udibilità e la soglia del dolore è detta
6. Lo strumento mediante il quale sono effettuate le misure di rumore pesato è denominato
7. La diafonia è fondamentalmente dovuta alla presenza di di accoppiamento tra i vari circuiti costituenti il
8. Il tempo di propagazione di un collegamento telefonico non deve superare i ms alla frequenza di Hz.