

Soluzione simulazione di tema d'esame di telecomunicazioni - aprile 2017
PRIMA PARTE

a) **Proponga¹ un progetto di massima per l'interconnessione fino al livello 3 OSI, ad alta affidabilità, dei tre siti tenendo conto che, vista la distanza limitata e l'assenza di ostacoli significativi, l'interconnessione tra la sede principale e il sito A va effettuata con un sistema di telecomunicazione via radio (wireless), ad alta capacità, mentre la connessione fra il sito principale e il sito B deve essere di tipo cablato in quanto fra essi sono presenti ostacoli che non consentono un collegamento wireless efficiente e affidabile, così come per l'eventuale interconnessione diretta fra i siti A e B.**

Per ottenere l'alta disponibilità dell'infrastruttura di rete si propone la realizzazione di una connessione a maglia fra i tre siti (FIGURA 1), in cui la connessione tra il sito A e il sito B costituisce anche un collegamento di backup nel caso in cui cada uno degli altri collegamenti verso il sito principale.

Si fanno poi le seguenti ipotesi:

- per garantire la massima sicurezza nello scambio di informazioni riservate (progetti, risultati di test, innovazioni, proposte, ecc.) fra i tre siti, l'intranet viene realizzata con collegamenti diretti tra i siti, senza passare da Internet e quindi senza VPN (Virtual Private Network);
- l'accesso a Internet di tutti i siti avviene esclusivamente tramite il sito principale, in cui vengono messe in atto tutte le politiche di sicurezza necessarie a garantire la massima protezione della rete aziendale;
- per la connessione fra il sito B e il sito principale si propone una connessione con linea dedicata in rame (doppini telefonici con continuità metallica) e tecnologia SHDSL, simmetrica; nel caso in cui siano richieste velocità elevatissime ($>> 10 \text{ Mbit/s}$) si può optare per una connessione con fibra ottica dedicata, dai costi però maggiori;
- la connessione tra il sito A e il sito B viene realizzata con una connessione simmetrica SHDSL su cavo in rame.

Lo schema di principio dell'infrastruttura di rete che si viene a realizzare può essere come il seguente:

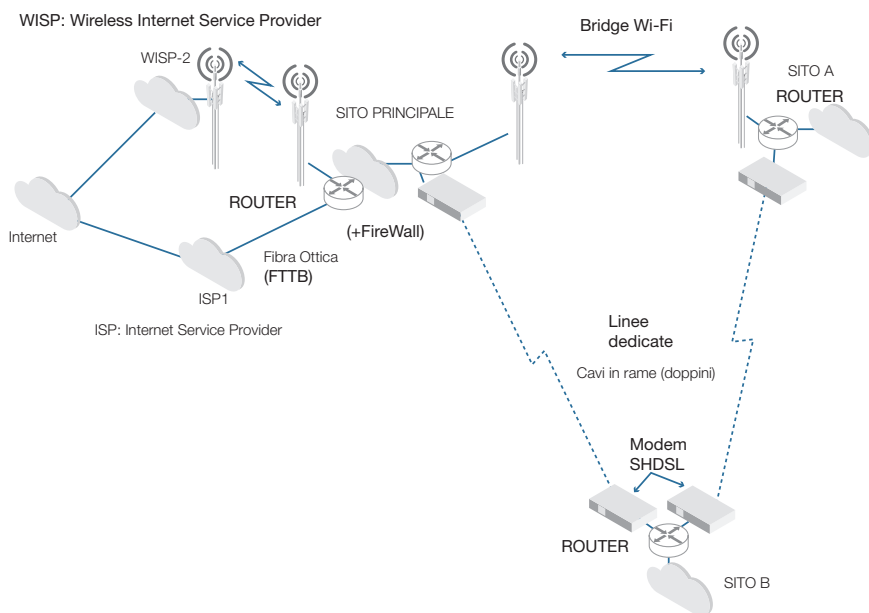


FIGURA 1 Schema di principio dell'infrastruttura di rete proposta.

¹ Rif. Libro di testo: Cap. 6 Lab. Did. 8 e Progetto finale, Cap. 4 Par. 6, Cap. 7 Par. 4, Cap. 9 Parr. 2, 4.

b) In relazione a quanto prodotto per il punto a), scelga gli apparati da utilizzare per assicurare l'interconnessione delle tre sedi, assicurando la necessaria ridondanza che assicuri l'alta disponibilità dell'infrastruttura di rete geografica².

In considerazione della richiesta di interconnessione fino al livello 3 è necessario prevedere l'impiego di **router** (o di switch Layer 3), dotati delle opportune interfacce WAN, per realizzare lo **strato 3 OSI**. Per gli **strati OSI 2 e 1** si possono fare le seguenti scelte:

- la connessione wireless tra il sito A e il sito principale può essere realizzata con apparati di tipo **Bridge**³ in tecnologia **Wi-Fi**, che forniscono le funzioni degli strati OSI 1 e 2. Per realizzare una connessione ad alta capacità è possibile, per esempio, impiegare bridge conformi allo standard IEEE 802.11ac che possono supportare connessioni full duplex ad alta capacità⁴, con una banda di canale pari a quella indicata nei dati di progetto;
- le connessioni cablate tra il sito B e il sito principale, nonché tra il sito A e il sito B, possono essere realizzate tramite connessioni su doppino telefonico che impiegano come apparati dei **modem/bridge a banda larga in tecnologia SHDSL**, i quali offrono sul collegamento geografico (WAN) tra i siti gli strati OSI 1 e 2.

c) Con adeguate motivazioni⁵, scelga il tipo di accesso a Internet fornendone le caratteristiche principali, tenendo presente che l'accesso a Internet di tutti i siti avviene esclusivamente tramite il sito principale, in cui vengono messe in atto tutte le politiche di sicurezza necessarie a garantire la massima protezione della rete aziendale, e che tale accesso deve essere ad alta disponibilità e velocità, così da supportare in modo affidabile ed efficiente i servizi cloud.

Un accesso a Internet in grado di supportare in modo efficiente e ad alta affidabilità i moderni servizi cloud⁶ può avere le seguenti caratteristiche:

- accesso di tipo **simmetrico**, con stessa velocità nell'upstream (trasmissione) e nel downstream (ricezione);
- accesso di tipo **FTTx** (Fiber To The ...) in grado di supportare accessi a banda ultralarga (> 30 Mbit/s); se disponibile è consigliabile avere un accesso completamente su fibra ottica, di tipo **FTTB** (Fiber To The Building) in grado, per esempio, di supportare velocità simmetriche fino a 100 Mbit/s in up/down; in caso contrario si potrà optare per un accesso **FTTC** (Fiber To The Cabinet) in cui la fibra ottica arriva fino a degli armadi (Cabinet) posti a livello stradale (street), mentre l'ultimo tratto, di lunghezza massima pari a qualche centinaio di metri, è su doppino telefonico, con apparati in tecnologia VDSL2. In tutti i casi è importante che l'accesso sia con *banda minima garantita* in modo che la velocità di connessione all'interno dell'infrastruttura di rete dell'ISP (Internet Service Provider) non scenda mai al di sotto di valori minimi prestabiliti.

È poi consigliabile che l'accesso a Internet sia *ridondato*, per avere la massima affidabilità ed efficienza. A questo scopo è possibile richiedere i sistemi di accesso a due Internet Service Provider diversi, preferibilmente uno di tipo cablati (FTTx) e uno di riserva (backup⁷) di tipo wireless, in modo da garantire che anche nel caso di interruzione di un collegamento o di guasto degli apparati di un ISP l'accesso a Internet rimanga disponibile attraverso la connessione wireless (anche se con delle limitazioni in termini di velocità di connessione). La ridondanza può poi essere estesa anche a livello di apparati di accesso impiegando due router che implementano un protocollo di tipo FSRP/HRSP (First Hop

² Rif. Libro di testo: Cap. 6 Parr. 1, 3, Cap. 4 Par. 6, Cap. 7 Par. 4, Cap. 9 Parr. 4, 5.

³ Per semplicità sono tenute separate le funzioni degli strati OSI 1, 2 dalle funzioni dello strato 3. Vi sono anche apparati che offrono anche le funzionalità di router, integrando le funzioni degli strati OSI 1, 2, 3.

⁴ Per esempio con bit rate lordo a livello fisico fino a circa 800 Mbit/s.

⁵ Rif. Libro di testo: Cap. 7 Par. 4, Cap. 6 Par. 6, Cap. 11 Par. 7.

⁶ Si veda il Cap. 11 Par. 6.5.

⁷ È anche possibile richiedere che entrambi i collegamenti siano sempre attivi e configurare gli apparati di accesso in modalità Load Balancing in modo che ripartiscano il traffico sulle due connessioni.

Redundancy Protocol/ Hot Standby Redundancy Protocol): essi si presentano lato LAN come se fossero un unico router, non ponendo quindi problemi nella configurazione del default gateway, e nel caso la connessione principale subisca un guasto automaticamente fanno subentrare la connessione di backup.

È poi indispensabile che l'accesso a Internet sia adeguatamente protetto contro accessi non autorizzati impiegando per esempio Firewall, IDS/IPS (Intrusion Detection/Prevention System), Syslog ecc.; inoltre va implementata la funzione NAT/PAT (Network Address Translation/Port Address Translation), che consente a computer configurati con indirizzi IPv4 privati di accedere a Internet condividendo uno o più indirizzi IPv4 pubblici

d) A sua scelta dettagli uno dei due seguenti aspetti dell'infrastruttura di rete dell'azienda.

Opzione 1 - Connettività wireless indoor e outdoor

1. Indichi i criteri generali da seguire e le principali scelte da effettuare nella stesura del progetto per l'infrastruttura di accesso wireless all'interno del sito principale, con particolare riferimento alle prestazioni e alla sicurezza degli accessi wireless⁸.

Per l'infrastruttura di rete wireless *indoor* si possono seguire i seguenti criteri:

- Access Point Wi-Fi (AP) con tecnologia conforme agli standard IEEE 802.11n e/o 802.11ac, con dual radio (doppio ricetrasmittitore) in modo da supportare client che operano sia nella banda dei 2,4 GHz (standard 802.11n) sia nella banda dei 5 GHz (standard 802.11n e 802.11ac);
- congruo numero di access point, in modo da supportare efficacemente gli utenti garantendo alte prestazioni;
- connessione degli AP alla rete cablata ad alta velocità (almeno 1 Gbit/s, tecnologia Ethernet 1000BASE-T);
- collocazione degli AP in punti che garantiscano la massima copertura radio (minimizzazione degli ostacoli) con *site survey* per identificare tali punti;
- configurazione degli AP che minimizzi le interferenze isocanale e tra canali adiacenti;
- configurazione degli AP centralizzata, tramite Wireless Controller o con gestione cloud degli AP stessi;
- implementazione di adeguate politiche di sicurezza come per esempio le seguenti:
 - autenticazione e crittografia a livello Wi-Fi con WPA2 Enterprise (con server RADIUS);
 - configurazione di SSID (Service Set Identifier, comunemente noto come «nome della rete wireless») diversi per i diversi ambiti operativi;
 - eventuale filtraggio degli indirizzi MAC, ecc.;
- creazione di appositi account per gli utenti, che possono accedere alla rete wireless solo tramite username e password;
- configurazione di un accesso per gli ospiti (GUEST) con limitazioni sulle risorse a cui può accedere (per esempio è consentito solo l'accesso a Internet ed è negato l'accesso alla LAN).

⁸ Rif. Libro di testo: Cap. 4 Parr. 4, 6, 7.

1. **Proponga un progetto di massima⁹ dell'interconnessione wireless tra il sito principale e il sito A che ne valuti le prestazioni e l'affidabilità a livello trasmissivo, sapendo che un partner commerciale offre un sistema di interconnessione wireless punto-punto avente le seguenti caratteristiche:**

- opera nella banda non licenziata (ISM) dei 5 GHz, con portante scelta a 5,64 GHz e banda di canale fino a 80 MHz;
- opera in trasmissione con un valore di EIRP pari a +30 dBm;
- gli apparati posti nei due siti sono dotati di antenna integrata con guadagno pari a 23 dBi;
- la sensibilità del ricevitore di ciascun apparato è pari a -85 dBm.

Per garantire un'alta disponibilità del collegamento, in ingresso al sistema ricetrasmittente, direttamente collegato all'antenna, si desidera avere un livello di potenza di ricezione non inferiore a -70 dBm, applicando un margine del collegamento di almeno 8 dB (comprendente l'attenuazione supplementare dovuta all'ambiente ed eventuali variazioni impreviste nella potenza ricevuta).

L'interconnessione tra il sito principale e il sito A avviene realizzando un collegamento in ponte radio, wireless, che opera nella banda non licenziata dei 5 GHz, utilizzando apparati configurati per operare come **Bridge Wi-Fi** (per esempio a standard IEEE 802.11ac) e dotati di interfaccia Ethernet, in grado di fornire gli strati OSI 1 e 2 per la comunicazione sul canale radio.

Il progetto di massima deve quindi determinare:

- l'altezza minima a cui vanno posti i sistemi ricetrasmittenti con antenna integrata affinché sia garantita la visibilità ottica tra essi;
- il livello di potenza in ricezione previsto;
- il margine totale che si ha rispetto alla sensibilità del ricevitore, per stimare l'affidabilità del collegamento radio.

Supponendo che il terreno sia pianeggiante (si trascura la curvatura terrestre), che non vi siano ostacoli di altezza significativa tra i due siti e che i sistemi radio siano posti alla stessa altezza, per determinare l'altezza minima a cui vanno posti i sistemi ricetrasmittenti si deve calcolare il raggio massimo dell'ellissoide di Fresnel e imporre che entro tale raggio non vi siano ostacoli¹⁰. Il raggio massimo dell'ellissoide di Fresnel si calcola come:

$$r_{\max} = 8,66 \cdot \sqrt{\frac{d_{\text{km}}}{f_{\text{GHz}}}} = 8,66 \cdot \sqrt{\frac{1_{\text{km}}}{5,64_{\text{GHz}}}} \cong 4 \text{ m}$$

Di conseguenza se tra il sito principale e il sito A vi sono ostacoli che, per esempio, non superano i 10 m di altezza dal suolo (edifici bassi, ecc.) i sistemi radio (con antenna integrata) vanno posti a un'altezza minima di (FIGURA 2):

$$h_{\min} = 10 + 4 = 14 \text{ m}$$

⁹ Rif. Libro di testo: Cap. 2 Esempio 3, Cap. 9 Par. 7.1, Vol. 2 Cap. 4 Parr. 14, 15 (ripasso).

¹⁰ Si veda il Vol. 2 Cap. 4 Par. 14.2.

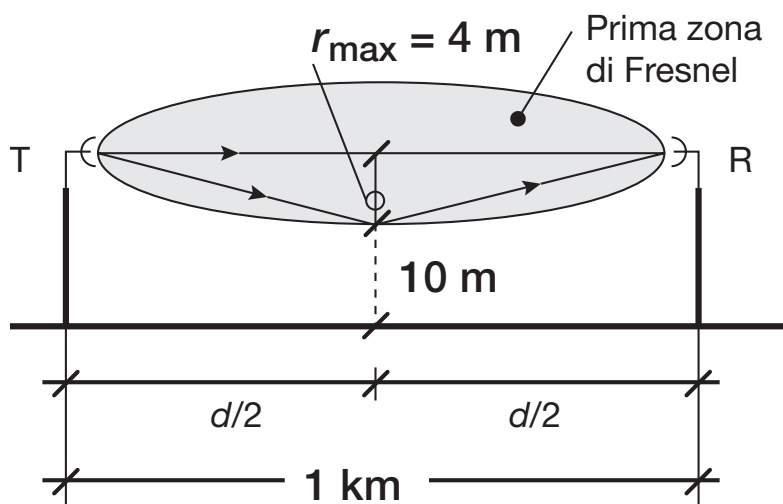


FIGURA 2 Calcolo altezza minima a cui porre i sistemi radio.

Calcolo del livello di potenza in ricezione

Lo schema di riferimento per la determinazione del livello di potenza in ricezione può essere il seguente (FIGURA 3):

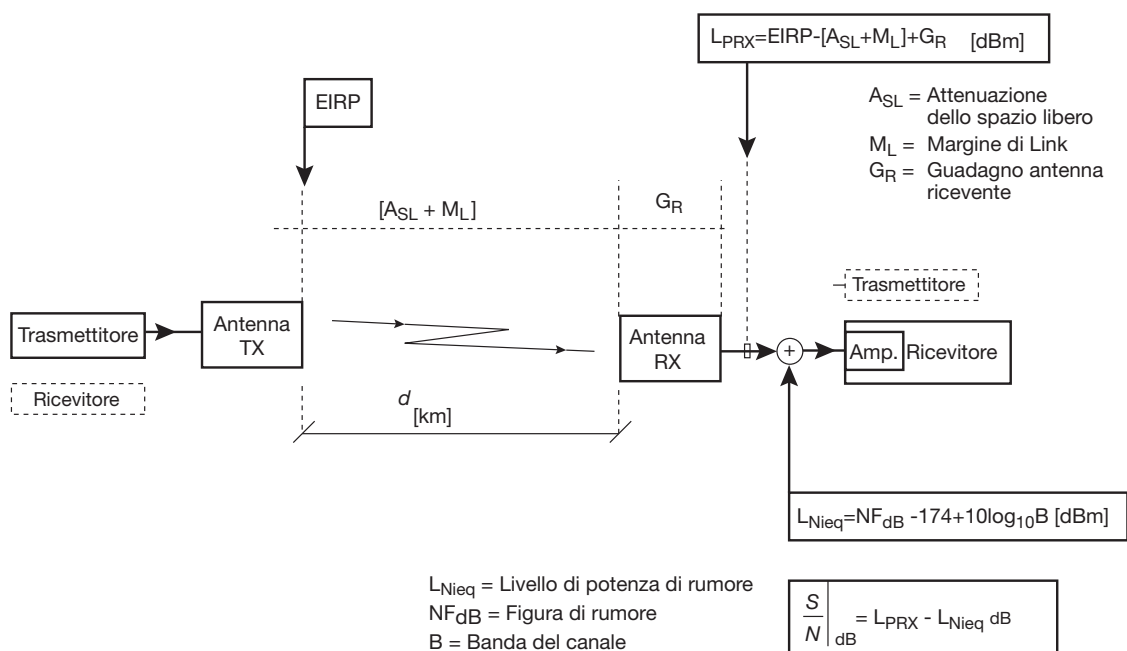


FIGURA 3 Schema di riferimento per il calcolo del livello in ricezione e del rapporto $(S/N)_{dB}$.

Si effettua quindi un *link power budget* (bilancio di potenza) per determinare il livello di potenza in ingresso al ricetrasmittitore (dopo l'antenna ricevente) e verificare che soddisfatti i requisiti richiesti, calcolando il risultato della seguente relazione:

$$L_{PRX} = EIRP - [A_{SL} + M] + G_R \text{ dBm}$$

L'attenuazione dello spazio libero (A_{SL}) si calcola con la seguente relazione:

$$A_{SL} = 92,5 + 20 \log_{10} d_{[km]} + 20 \log_{10} f_{[GHz]} \text{ [dB]}$$

$$A_{SL} = 92,5 + 20 \log_{10} 1_{[km]} + 20 \log_{10} 5,64_{[GHz]} \text{ [dB]} = 107,5 \text{ dB}$$

Il livello di potenza in ricezione, nel caso peggiore previsto, risulta così pari a:

$$L_{PRX} = EIRP - [A_{SL} + M] + G_R = 30 - [107,5 + 8] + 23 = -62,5 \text{ dBm}$$

Il risultato trovato assicura l'alta disponibilità del collegamento in quanto si ha un margine totale di $M_{tot} = 85 - 62,5 = 22,5 \text{ dB}$ rispetto alla sensibilità del ricevitore, cioè al minimo livello di potenza che deve essere fornito al ricevitore perché esso possa operare con una probabilità d'errore accettabile e predefinita¹¹.

3. Stimi¹² il rapporto S/N in ingresso al ricevitore nel caso ideale di solo rumore bianco, sapendo che il ricevitore è caratterizzato da una figura di rumore pari a 5 dB.

Con i dati di progetto (figura di rumore, NF, di 5 dB; banda di canale di 80 MHz) e facendo riferimento allo schema di FIGURA 3, si può calcolare il livello di potenza di rumore equivalente (cioè che tiene conto anche del rumore interno al ricevitore), nel caso di solo rumore bianco (AWGN - Additive White Gaussian Noise), con la seguente relazione:

$$L_{N_{eq}} = NF_{dB} - 174 + 10 \log(B_{Hz}) \text{ dBm}$$

$$L_{N_{eq}} = 5_{dB} - 174 + 10 \log(8 \cdot 10^7 \text{ Hz}) = 5 - 174 + 70 + 9 = -90 \text{ dBm}$$

Il rapporto Segnale-Rumore, espresso in dB, risulta così pari a:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = L_{PRX} - L_{N_{eq}} = -62,5 - (-90) = 27,5 \text{ dB}$$

Il valore trovato risulta buono.

4. Utilizzando il grafico fornito, stimi la probabilità d'errore¹³ nel caso in cui si operi con modulazione 64-QAM e si abbia una velocità di trasmissione (o bit rate lordo) a livello fisico corrispondente al doppio di quella di una connessione Ethernet 100BASE-TX.

Per determinare la probabilità d'errore è necessario calcolare il valore del parametro (E_b/N_o) . Sulla base dei dati di progetto, della velocità di trasmissione pari a 200 Mbit/s (corrispondente al doppio di quella di una connessione Ethernet 100BASE-TX) e del valore dell' S/N si ha:

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{dB} = \left(\frac{S}{N}\right)_{dB} - 10 \log\left(\frac{R_s}{B}\right) = 27,5 - 10 \log\left(\frac{2 \cdot 10^8}{8 \cdot 10^7}\right) \cong 23 \text{ dB}$$

Utilizzando il grafico allegato si può così stimare che, in condizioni ideali, la probabilità d'errore (cioè il Bit Error Rate stimato per quella connessione) risulta all'incirca pari a:

$$P(e) \cong 10^{-14}$$

¹¹ La sensibilità del ricevitore non è la stessa per tutte le velocità supportate dal ricetrasmittitore, ma varia al variare del bit rate e della banda di canale; per esempio un costruttore fornisce apparati per Bridge Wi-Fi con una sensibilità che arriva a -96 dBm operando a circa 6 Mbit/s con banda di canale pari a 20 MHz.

¹² Rif. Libro di testo: Cap. 9 Par. 7.1, Cap. 3 Par. 1.

¹³ Rif. Libro di testo: Cap. 9 Par. 7.1.

Assieme al buon livello di potenza in ricezione, al margine totale elevato, ciò conferma l'alta affidabilità ed efficienza del collegamento radio.

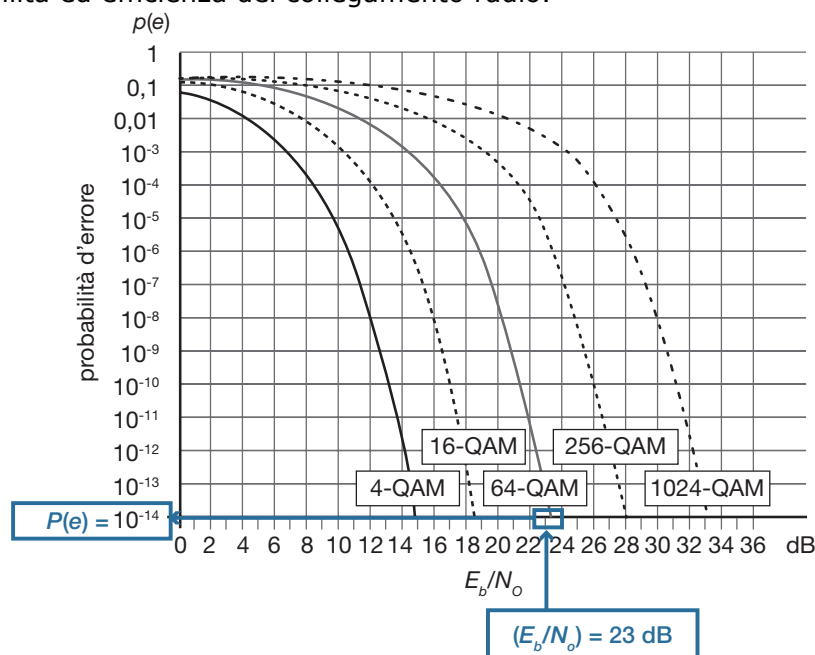


FIGURA 4 Stima della probabilità d'errore.

Opzione 2 - Infrastruttura di rete cablata e internetworking

1. Indichi i criteri generali¹⁴ da seguire e le principali scelte da effettuare nella stesura del progetto per l'infrastruttura di rete cablata del sito principale, con riferimento al rispetto degli standard, alle prestazioni e alla sicurezza.

I criteri generali che si possono indicare sono i seguenti:

- cablaggio conforme agli standard del cablaggio strutturato:
 - cablaggio verticale in fibra ottica, per esempio a standard OM4 (in grado di supportare velocità fino a 10 Gbit/s);
 - cablaggio orizzontale in rame, per esempio in cat. 6A (in grado di supportare fino a 10 Gbit/s, standard IEEE 10GBase-T) nei collegamenti verso access point 802.11ac e server, in cat. 6 (in grado di supportare fino a 1 Gbit/s, standard IEEE 1000Base-T) verso dispositivi e PC desktop;
- suddivisione della rete almeno in strato di accesso e strato di distribuzione;
- almeno per lo strato di distribuzione topologia a maglia, ridondata, con impiego del protocollo STP (*Spanning Tree Protocol*) per aprire i loop a livello 2 ed evitare i broadcast storm;
- impiego di switch di tipo amministrabile (*manageable*).

Inoltre è possibile indicare ulteriori criteri che rendono più moderna, affidabile e sicura la rete quali:

- segmentazione tramite VLAN della rete per isolare i diversi ambiti operativi a livello 2;
- impiego di switch Layer 3 (o router) nello strato di distribuzione per mettere in comunicazione (se necessario) ambiti operativi diversi, applicando le opportune politiche di sicurezza e di filtraggio del traffico;
- monitoraggio e gestione centralizzata degli switch (attivando il protocollo SNMP);

¹⁴ Rif. Libro di testo: Cap. 2 Parr. 2.1, 4; Cap. 3 Parr. 4, 5.2, 5.4, 5.5, 6.

- implementazione di politiche di sicurezza a livello 2, quali *port security* (vincolare l'uso delle porte degli switch solo a dispositivi aventi indirizzi MAC specificati), disattivazione delle porte degli switch non utilizzate, ecc.;
- realizzazione di un'infrastruttura di rete convergente, in grado di supportare servizi di telefonia su IP (ToIP), videocomunicazione, video on demand, ecc., oltre al normale servizio dati;
- implementazione della qualità del servizio (QoS, Quality of Service) per garantire elevata qualità alle comunicazioni audio e video.

2. Indichi i criteri generali¹⁵ da seguire e le scelte principali da effettuare per realizzare un piano di indirizzamento per ciascuna delle tre sedi, sapendo che nel sito principale vi sono tre ambiti operativi e si prevede che in essi si abbiano rispettivamente un massimo di 40, 50, 80 dispositivi (computer, apparati di rete, telefoni VoIP, videocamere IP, ecc.) collegati in rete, mentre nel sito A i dispositivi sono complessivamente 45 e nel sito B sono 65.

Essendo un'infrastruttura di rete privata si impiegano esclusivamente indirizzi IPv4 privati. È possibile definire un piano di indirizzamento ottimizzato oppure un piano di indirizzamento semplificato.

Piano di indirizzamento ottimizzato

Se non si prevedono variazioni significative nel numero di host collegati in rete (non si prevede di fornire l'accesso alla rete cablata a ospiti e visitatori occasionali, ecc.), è possibile realizzare un piano di indirizzamento ottimizzato, che fornisce per ogni sottorete IP (subnet IP) un numero di indirizzi IPv4 il più vicino possibile al numero massimo di host previsti.

A tale scopo si può operare nel seguente modo (FIGURA 5).

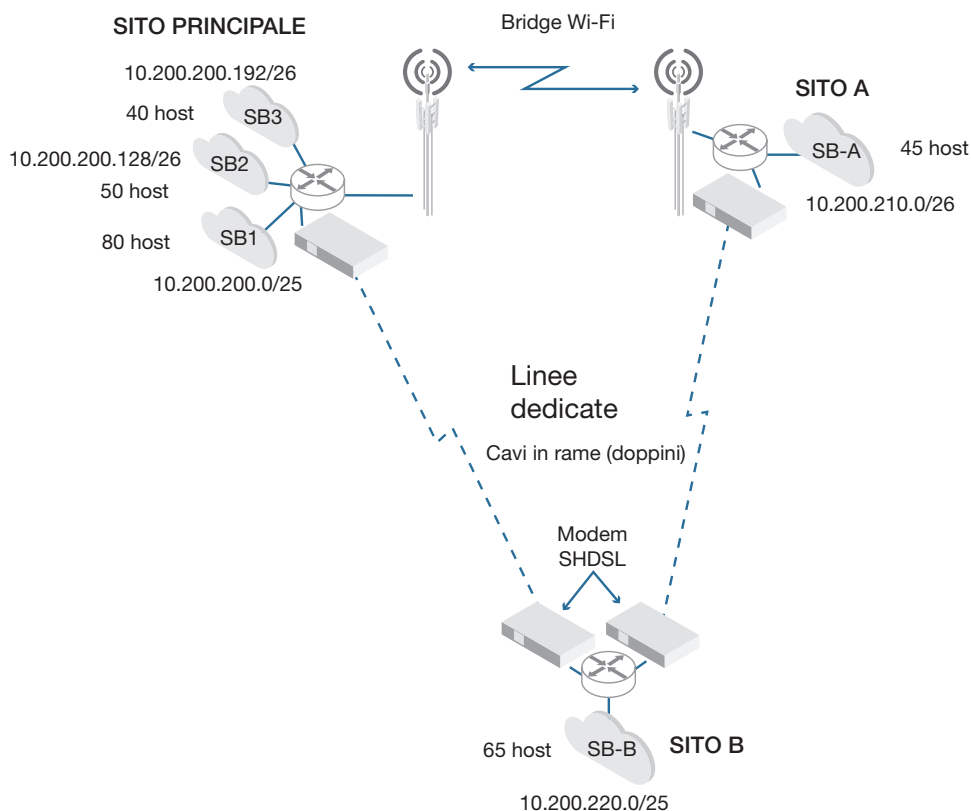


FIGURA 5 Piano di indirizzamento ottimizzato per i tre siti.

¹⁵ Rif. Libro di testo: Cap. 5 Parr. 4, 5, 6, Esercizi svolti a fine capitolo.

Per il sito principale:

- si sceglie un blocco di indirizzi IPv4 privati da segmentare per ricavare tre subnet IP, come per esempio il **10.200.200.0/24**, con subnet mask /24 composta da 24 «1» e 8 «0», corrispondente a **255.255.255.0** in notazione decimale puntata;
- si determina la subnet mask ottimizzata che consente di avere un numero di indirizzi IP sufficiente per la subnet più grande (da 80 host); per poter indirizzare 80 host la parte host degli indirizzi IP deve essere composta da almeno 7 bit, per cui si deve impiegare la subnet mask **/25**, composta da 25 «1» e 7 «0», **255.255.255.128** in notazione decimale puntata;
- si suddivide il blocco di partenza in due sottoblocchi allungando la subnet mask di partenza (/24) di 1 bit, il bit aggiunto al prefisso di rete viene utilizzato per discriminare tra i due blocchi; poiché nel blocco di partenza le prime tre cifre fanno parte del prefisso di rete, e quindi non sono modificabili, è possibile effettuare i calcoli ponendo in binario solo l'ultima cifra del blocco e gli ultimi 8 bit delle subnet mask:
blocco di partenza (ultimi 8 bit): .00000000
subnet mask iniziale (ultimi 8 bit): .00000000

La suddivisione in due sottoblocchi (S1, S2) si ottiene portando a 25 il numero di «1» delle subnet mask (si allunga di un bit la parte a «1» della subnet mask e quindi di 1 bit il prefisso di rete).

Sottoblocco S1 (ultimi 8 bit): .00000000 → indirizzo di rete: 10.200.200.0
subnet mask /25 (ultimi 8 bit): .10000000 → subnet mask: 255.255.255.128

Il sottoblocco S1 può essere utilizzato per fornire gli indirizzi IPv4 alla subnet IPv4 dell'ambito più grande (80 host, numero che comprende tutte le interfacce di tutti gli apparati e i dispositivi che si devono collegare in rete), SB1, il cui piano di indirizzamento può seguire i seguenti criteri:

- indirizzo IPv4 di (sotto)rete **10.200.200.0** (parte host di 7 bit tutta a «0»);
- subnet mask /25, in formato decimale puntato **255.255.255.128**;
- Indirizzi IPv4 totali disponibili: $N_{ind.} = 2^7 - 2 = 126$;
essi vanno dal 10.200.200.1 al 10.200.200.126;
- l'indirizzo IPv4 di broadcast è il 10.200.200.127 (parte host di 7 bit tutta a «1»).

Si può quindi:

- assegnare in modo statico i primi indirizzi IPv4 agli apparati di rete (switch, access point, ecc.);
- scegliere un blocco intermedio di indirizzi IPv4 da assegnare in modo automatico, tramite un server DHCP, ai dispositivi client (PC, ecc.), limitandone il numero allo stretto necessario¹⁶;
- assegnare in modo statico un blocco finale di indirizzi IPv4 ai server presenti in rete;

Sottoblocco S2: 10.200.200.128 → ultimi 8 bit .10000000
subnet mask (/25): 255.255.255.128 → ultimi 8 bit .10000000

Il sottoblocco S2 può essere ulteriormente ripartito in due sottoblocchi (S3, S4) utilizzando la subnet mask **/26** (si allunga ulteriormente di un bit la parte a «1» della subnet mask e quindi di 1 bit il prefisso di rete), ottenendo così i seguenti sottoblocchi:

¹⁶ Come ulteriore politica di sicurezza è possibile vincolare nel server DHCP l'assegnazione di ciascun indirizzo IPv4 a uno specifico indirizzo MAC (operazione detta *IP/MAC binding*), realizzando la configurazione statica degli indirizzi IPv4 tramite un server DHCP, così da identificare in modo univoco le macchine fisiche a cui il DHCP assegna gli indirizzi IPv4; ciò può agevolare l'analisi del traffico e l'individuazione di cause di problemi nella rete (come sorgenti o destinazioni di traffico non autorizzato, ecc.).

Sottoblocco S3:

ultimi 8 bit: .10000000 → indirizzo di rete → **10.200.200.128**

subnet mask (/26 → 26 «1» e 6 «0»), ultimi 8 bit .11000000 → subnet mask in decimale **255.255.255.192**

Sottoblocco S4:

ultimi 8 bit: .11000000 → indirizzo di rete: **10.200.200.192**

subnet mask /26, in notazione decimale **255.255.255.192**

Ciascuno dei due sottoblocchi S3 ed S4 fornisce un numero totale di indirizzi IPv4 sufficiente per indirizzare tutti gli host di ciascuna delle subnet SB3 e SB4 del secondo e terzo ambito, in quanto è pari a: $N_{\text{ind.}} = 2^6 - 2 = 62$.

Quindi il sottoblocco S3 può essere utilizzato per configurare gli host della subnet IP SB2 (secondo ambito, 50 host), mentre il sottoblocco S4 può essere utilizzato per configurare gli host della subnet IP SB3 (terzo ambito, 40 host).

I criteri di assegnazione degli indirizzi IPv4 possono essere quelli indicati in precedenza. Infine si può far notare che nelle tre subnet IPv4 create vi sono un numero di indirizzi IPv4 liberi (di riserva) pari a:

SB1: $N_{\text{ind.liberi}} = 126 - 80 = 46$

SB2: $N_{\text{ind.liberi}} = 62 - 50 = 12$

SB3: $N_{\text{ind.liberi}} = 62 - 40 = 22$

Per quanto riguarda gli altri siti è possibile definire una sola subnet per ciascuno di essi, per esempio con le seguenti scelte:

sito A

indirizzo di rete: **10.200.210.0**

subnet mask: /26 o **255.255.255.192**

numero totale di indirizzi IPv4 disponibili per gli host: $N_{\text{ind.}} = 2^6 - 2 = 62$

da 10.200.210.1 a 10.200.210.62

indirizzo di broadcast: 10.200.210.63

sito B

indirizzo di rete: **10.200.220.0**

subnet mask: /25 o **255.255.255.128**

numero totale di indirizzi IPv4 disponibili per gli host: $N_{\text{ind.}} = 2^7 - 2 = 126$

da 10.200.220.1 a 10.200.220.126

indirizzo di broadcast: 10.200.220.127

Piano di indirizzamento semplificato

In alternativa, è possibile ipotizzare che non vi siano esigenze particolari e dato che si utilizzano esclusivamente indirizzi IPv4 privati non è indispensabile definire un piano di indirizzamento ottimizzato, che limita il numero di indirizzi IPv4 disponibili in una subnet. Con questa ipotesi è possibile:

- utilizzare per tutte le subnet IPv4 di tutti i siti la subnet mask /24 o **255.255.255.0**
- differenziare le subnet tramite i bit del terzo ottetto (terza cifra decimale) dell'indirizzo IPv4 di rete.

Il piano di indirizzamento si determina in modo più semplice e può essere per esempio il seguente:

Sito principale

- subnet 1 (SB1):

indirizzo di rete: **10.200.200.0**

- subnet mask: /24 o **255.255.255.0**
 numero totale di indirizzi IPv4 disponibili per gli host: $N_{\text{ind.}} = 2^8 - 2 = 254$
 da 10.200.200.1 a 10.200.200.254
 indirizzo di broadcast: 10.200.200.255
- subnet 2 (SB2):
 indirizzo di rete: **10.200.201.0**
 subnet mask: /24 o **255.255.255.0**
 numero totale di indirizzi IPv4 disponibili per gli host: $N_{\text{ind.}} = 2^8 - 2 = 254$
 da 10.200.201.1 a 10.200.201.254
 indirizzo di broadcast: 10.200.201.255
 - subnet 3 (SB3):
 indirizzo di rete: **10.200.202.0**
 subnet mask: /24 o **255.255.255.0**
 numero totale di indirizzi IPv4 disponibili per gli host: $N_{\text{ind.}} = 2^8 - 2 = 254$
 da 10.200.202.1 a 10.200.202.254
 indirizzo di broadcast: 10.200.202.255

Per i **siti A e B** si può mantenere lo stesso indirizzo di rete e utilizzare la subnet mask /24 (255.255.255.0), in alternativa a quella ottimizzata.

3. **Scelga il sistema di interconnessione tra il sito principale e il sito B, dettagliando gli apparati da utilizzare e le loro principali caratteristiche trasmissive¹⁷.**

Si ipotizza che fra il sito principale e il sito B non sia necessario disporre di un collegamento a banda ultralarga in quanto non vi è la necessità di uno scambio di dati continuativo e ad altissima velocità, così come tra il sito A e il sito B. Inoltre il collegamento è preferibile che sia di tipo simmetrico, con uguali velocità in trasmissione e ricezione.

Di conseguenza, vista la limitata distanza tra i siti, è possibile optare per un collegamento di tipo dedicato ottenuto affittando da uno a quattro doppi telefonici e utilizzando modem/bridge banda base in tecnologia SHDSL.

I modem SHDSL (a standard SHDSL.bis) hanno le seguenti caratteristiche trasmissive:

- supportano una velocità di trasmissione simmetrica (uguale in up e downstream) fino a 5,7 Mbit/s per singolo doppio, su distanze relativamente brevi come quella del caso in esame;
- operano in banda base con un codice di linea multilivello M-PAM (M-ary Pulse Amplitude Modulation), a M livelli ($M_{\text{max}}=16$);
- adottano la tecnica della cancellazione d'eco per realizzare la trasmissione full-duplex su un singolo doppio telefonico;
- possono anche operare impiegando fino a 4 doppi in parallelo, in modalità *channel bonding*, offrendo un bit rate lordo a livello fisico che arriva a 22,8 Mbit/s.

Nel caso siano richieste velocità di trasmissione maggiori si dovrà optare per un collegamento dedicato su fibra ottica, che deve impiegare due fibre ottiche, una in trasmissione e una in ricezione, a costi però presumibilmente molto maggiori.

I dati di progetto escludono, infine, l'impiego di connessioni VPN (Virtual Private Network).

4. **Proponga¹⁸ e dettagli il piano di indirizzamento da impiegare per i collegamenti fra i tre siti, indicando, in relazione alle scelte fatte in precedenza, se si possono utilizzare esclusivamente indirizzi IP privati oppure se è necessario impiegare anche indirizzi IP pubblici.**

Poiché l'interconnessione fra i tre siti deve avvenire fino al livello 3 è necessario impiegare dei router (o degli switch Layer 3) per inviare e ricevere pacchetti IP fra i siti stessi, incapsulati nei frame dei protocolli di linea utilizzati sui collegamenti geografici.

¹⁷ Rif. Libro di testo: Cap. 9 Parr. 4, 5.

¹⁸ Rif. Libro di testo: Cap. 5 Parr. 4, 5, 6, Esercizi svolti a fine capitolo.

Si ipotizza per semplicità che il collegamento di un sito con gli altri siti avvenga tramite un router equipaggiato con interfacce LAN sul lato interno e con due interfacce WAN (W1 e W2) sul lato esterno, verso gli altri siti, interfacce che sono collegate (o integrano) gli apparati di ricetrasmisione (modem SHDSL e bridge Wi-Fi).

Le due interfacce WAN di un router devono appartenere a due subnet IP diverse, per cui per ogni collegamento sarà configurata una subnet IP diversa dalle altre.

Sui collegamenti fra i tre siti è così necessario configurare tre subnet IPv4, ciascuna formata da due host (le due interfacce wan dei router posti in comunicazione), come mostrato in FIGURA 6.

Poiché ciascuna subnet IP è composta da due soli host è possibile utilizzare per essa la subnet mask ottimizzata /30, composta da 30 «1» e 2 «0», espressa in notazione decimale puntata come **255.255.255.252**.

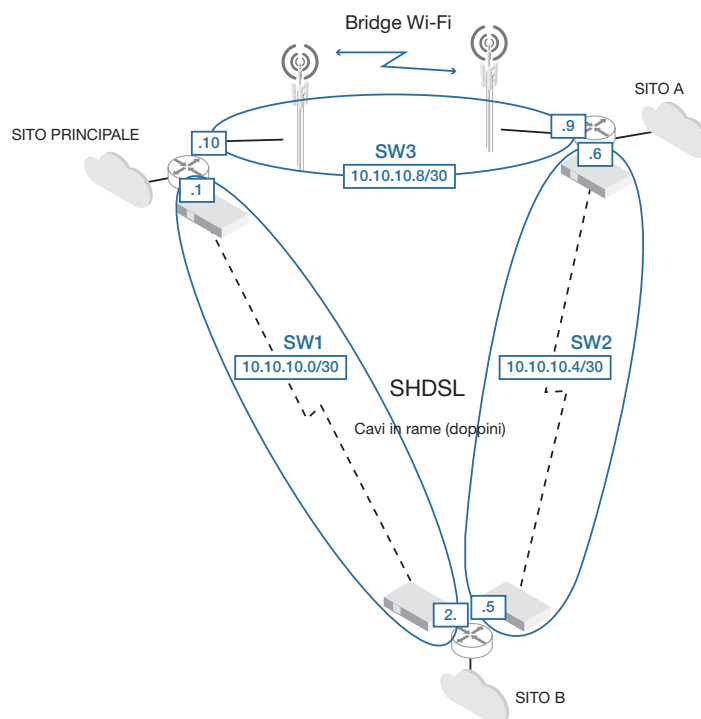


FIGURA 6 Esempio di subnet IP definite per i collegamenti geografici.

Poiché la rete geografica (WAN) è completamente privata e non prevede interconnessioni via Internet vanno utilizzati esclusivamente indirizzi IPv4 privati, per cui il piano di indirizzamento può essere, per esempio, il seguente:

- subnet SW1, interconnessione tra il sito principale e il sito B:
 indirizzo di rete e subnet mask: **10.10.10.0/30 (255.255.255.252)**
 indirizzo IPv4 interfaccia WAN1 router sito principale: 10.10.10.1/30
 indirizzo IPv4 interfaccia WAN1 router sito B: 10.10.10.2/30
 indirizzo IPv4 di broadcast: 10.10.10.3/30
- subnet SW2, interconnessione tra il sito B e il sito A:
 indirizzo di rete e subnet mask: **10.10.10.4/30 (255.255.255.252)**
 indirizzo IPv4 interfaccia WAN2 router sito B: 10.10.10.5/30
 indirizzo IPv4 interfaccia WAN1 router sito A: 10.10.10.6/30
 indirizzo IPv4 di broadcast: 10.10.10.7/30
- subnet SW3, interconnessione tra il sito principale e il sito A:
 indirizzo di rete e subnet mask: **10.10.10.8/30 (255.255.255.252)**
 indirizzo IPv4 interfaccia WAN2 router sito principale: 10.10.10.10/30
 indirizzo IPv4 interfaccia WAN2 router sito A: 10.10.10.9/30
 indirizzo IPv4 di broadcast: 10.10.10.11/30

Nel caso in esame di topologia a maglia ridondata, in cui esistono due percorsi che da un sito portano verso un altro sito, la composizione di una route (o rotta) può essere quella della TABELLA 1.

ind. IPv4 della rete di destinazione	subnet mask	next hop	distanza amministrativa ²¹
--------------------------------------	-------------	----------	---------------------------------------

TABELLA 1 Parametri che compongono una route della tabella di routing.

Si ricorda poi che la default route ha:

- come indirizzo IPv4 di rete **0.0.0.0** (qualsiasi rete di destinazione non nota);
- come subnet mask **0.0.0.0**;
- come *next hop* l'indirizzo IPv4 dell'interfaccia del router successivo a cui vanno inviati i pacchetti destinati a reti sconosciute (cioè che non hanno una route esplicita nella tabella di routing).

Per facilitare la configurazione della tabella di routing è possibile utilizzare una tabella di progetto, in cui si riportano per ciascun router quali sono i next hop (interfaccia del router successivo) tramite cui si raggiungono le reti di destinazione, TABELLA 2.

	RSP	RA	RB		
Rete di destinazione e Subnet mask	Next hop	Next hop	Next hop	Distanza amministrativa	Commenti
0.0.0.0 0.0.0.0	Ind. IP Router di accesso a Internet	10.10.10.10	10.10.10.1	1	Default route principale
0.0.0.0 0.0.0.0	Ind. IP Router di accesso a Internet	10.10.10.5	10.10.10.6	200	Default route di riserva
10.200.210.0 255.255.255.192	10.10.10.9	Direttamente connessa	10.10.10.6	1	Principale
10.200.210.0 255.255.255.192	10.10.10.2	Direttamente connessa	10.10.10.1	200	Riserva
10.200.220.0 255.255.255.128	10.10.10.2	10.10.10.5	Direttam. connessa	1	Principale
10.200.220.0 255.255.255.128	10.10.10.9	10.10.10.10	Direttam. connessa	200	Riserva

TABELLA 2 Tabella di progetto.

Le reti direttamente connesse vengono inserite nella tabella dai router stessi.

La tabella di routing dei router viene così compilata²² con gli appositi comandi (o tramite interfaccia grafica) inserendo per ciascuna route i parametri indicati nella TABELLA 1, come indicato a titolo esemplificativo nella TABELLA 3 relativa al router SP.

²¹ Corrisponde alla metrica.

²² Inoltre è necessario definire i percorsi tramite cui si raggiungono le subnet IPv4 dei collegamenti tra i router, che per semplicità omettiamo.

Router Sito Principale (RSP)			
Ind. IPv4 della rete di destinazione	Subnet mask	Next hop	Distanza amministrativa
10.200.210.0	255.255.255.192	10.10.10.9	1
10.200.210.0	255.255.255.192	10.10.10.2	200
10.200.220.0	255.255.255.128	10.10.10.2	1
10.200.220.0	255.255.255.128	10.10.10.9	200
0.0.0.0	0.0.0.0	Ind. IP Router di accesso a Internet	1

TABELLA 3 Compilazione della tabella di routing del router RSP.

Routing dinamico

Con il routing dinamico l'amministratore di rete abilita e configura un protocollo di routing su ciascun router, oltre a configurare la default route tramite cui si accede a Internet. I protocolli di routing che risiedono nei diversi router comunicano tra loro e consentono la compilazione automatica e l'aggiornamento delle tabelle di routing.

Esempi di protocolli di routing sono i seguenti:

- RIP (*Routing Information Protocol*), protocollo di tipo *distance vector* semplice da configurare e adatto a operare in piccole reti;
- OSPF (*Open Shortest Path First*), protocollo di tipo *link state* più complesso e adatto anche per reti medio-grandi.

Nel caso in esame è possibile optare per il protocollo RIPv2 (RIP versione 2).

Nel caso proposto la configurazione del protocollo RIPv2 in un router, per esempio il RSP, consiste essenzialmente nel configurare su ciascun router quali sono le reti IP, espresse con il metodo delle classi (o *classful*), che sono direttamente collegate al router stesso e che quest'ultimo deve comunicare agli altri router. Nel caso in esame è quindi sufficiente un comando del tipo

network 10.0.0.0

che comprende tutte le sottoreti IPv4 collegate al router RSP²³.

Si può procedere allo stesso modo anche per il router A e il router B.

6. Sapendo che sul collegamento geografico tra il sito principale e il sito B:

- si impiega un protocollo di linea²⁴ di tipo *connectionless*, senza riscontro e senza controllo di flusso, che opera con 2-PDU (o *frame*) aventi un header di 3 B, un *payload* di 1522 B, e un campo di coda per la rivelazione d'errore (FCS, *Frame Check Sequence*) di 2 B;
- a livello fisico la velocità di trasmissione è pari a 5,7 Mbit/s;
- si ha l'emissione continua di 2-PDU da parte del protocollo di linea sorgente; il candidato calcoli²⁵:

²³ È anche necessario inviare un comando del tipo *<no auto-summary>* che mantiene separate le diverse subnet IP appartenenti alla stessa classe nelle tabelle di routing, oltre a un comando per far comunicare l'esistenza di una default route verso Internet.

²⁴ Il caso proposto è quello di un modem/bridge SHDSL che utilizza come protocollo di linea sul collegamento geografico una versione semplificata del protocollo HDLC, fatto operare senza correzione d'errore, e che incapsula nel payload un frame Ethernet a cui viene tolto il campo di coda FCS, di 4 B.

²⁵ Rif. Libro di testo: Cap. 1 Par. 2.1, Cap. 3 Par. 2.2, Cap. 5 Par. 5.

- a) la dimensione massima delle PDU del protocollo immediatamente superiore che possono essere incapsulate nel payload del frame;
- b) la massima velocità di informazione (*bit rate*) che viene offerta dal protocollo di linea (service provider) al protocollo immediatamente superiore (service user).

- a) La dimensione massima delle PDU del protocollo superiore (service user) è pari alla dimensione del payload delle 2-PDU del protocollo di linea, cioè è di **1522 B**.
- b) Si calcola la dimensione totale, in Byte (B) e in bit, di una 2-PDU (o *Frame*) del protocollo di linea:

$$D_{2-PDU} = D_{Header} + D_{Payload} + D_{FCS} = 3 + 1522 + 2 = 1527 \text{ B} \rightarrow D_{2-PDU} = 1527 \cdot 8 = 12\,216 \text{ bit}$$

Si calcola il numero massimo di *Frame* (2-PDU) che possono essere trasmesse al secondo:

$$N_{Frame/s} = \frac{Vel. \text{ trasm. } [bit/s]}{D_{2-PDU} [bit/frame]} = \frac{5,7 \cdot 10^6}{12\,216} = 466,6 \text{ Frame/s}$$

La massima velocità di informazione (bit rate), *BR*, offerta al protocollo superiore si calcola moltiplicando il numero di Frame/s per la dimensione, espressa in bit, del payload del *Frame* (2-PDU) del protocollo di linea:

$$BR = N_{[Frame/s]} \cdot D_{Payload [bit/Frame]} = 466,6 \cdot 1522 \cdot 8 = 5,68 \text{ Mbit/s}$$

Il valore trovato dimostra che il protocollo di linea è molto efficiente in quanto la velocità (bit rate) che esso offre al protocollo superiore è quasi uguale a quella di trasmissione in linea.

Libro di testo consigliato
 Onelio Bertazioli
 Corso di Telecomunicazioni vol. 3
 Ed. Zanichelli

Si consiglia inoltre la consultazione del seguente manuale:
 AA. VV.
 Manuale Cremonese di Informatica e Telecomunicazioni
 Ed. Zanichelli

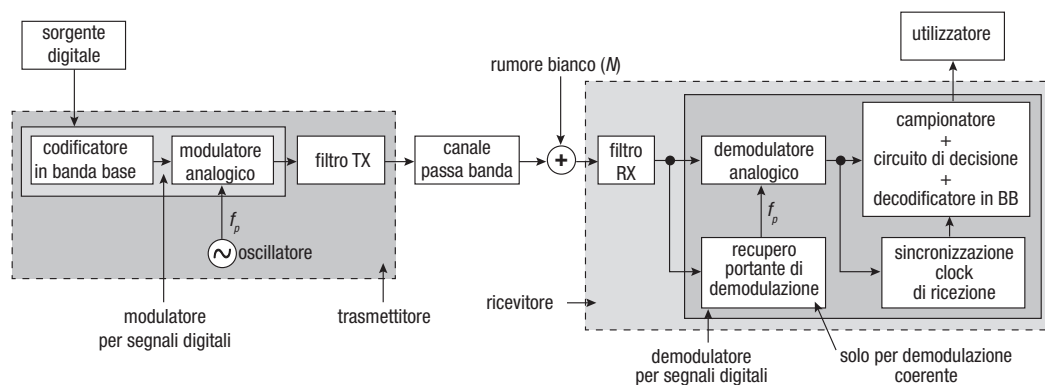
Soluzione Simulazione di 2a prova scritta di TELECOMUNICAZIONI – Aprile 2017

SECONDA PARTE

Il candidato scelga quattro fra i seguenti quesiti¹ e per ciascun quesito scelto formuli una risposta della lunghezza massima di 20 righe (esclusi disegni e grafici).

1. Illustri lo schema a blocchi di un modello adatto a descrivere, in linea di principio, un sistema di trasmissione digitale che opera in banda traslata e descriva sinteticamente la tecnica di trasmissione che viene impiegata sul collegamento radio (wireless) tra sito principale e sito A.

Uno schema a blocchi di un sistema di trasmissione digitale che opera in banda traslata, e quindi su un canale passa banda, è quello riportato nel Cap. 8 Par. 5 Figura 7 del libro testo:



Schema a blocchi di un sistema di trasmissione in banda traslata

Per la sua descrizione dettagliata si rimanda al libro testo stesso.

La tecnica di trasmissione utilizzata sul collegamento radio impiega la modulazione digitale M-QAM (M-ary Quadrature Amplitude Modulation), modulazione mista ampiezza-fase con M-stati (nel caso proposto M=64), descritta nel Cap. 5 Par. 5.7 del testo.

Per esemplificare la tecnica di modulazione è possibile riportare la costellazione di una modulazione 16-QAM, come quella di Fig. 4 oppure di Fig. 18 del libro di testo (Cap. 5 Par. 5.7) e poi indicare che la costellazione della modulazione 64-QAM è formata da 64 punti, corrispondenti alle 64 posizioni, o stati di modulazione, che può assumere il vettore che descrive il segnale modulato. Ciascuno stato di modulazione è quindi la posizione che assume il vettore associato al segnale modulato e ne fornisce l'ampiezza e la fase.

¹ CP2 descrivere e comparare il funzionamento di dispositivi e strumenti elettronici e di telecomunicazione

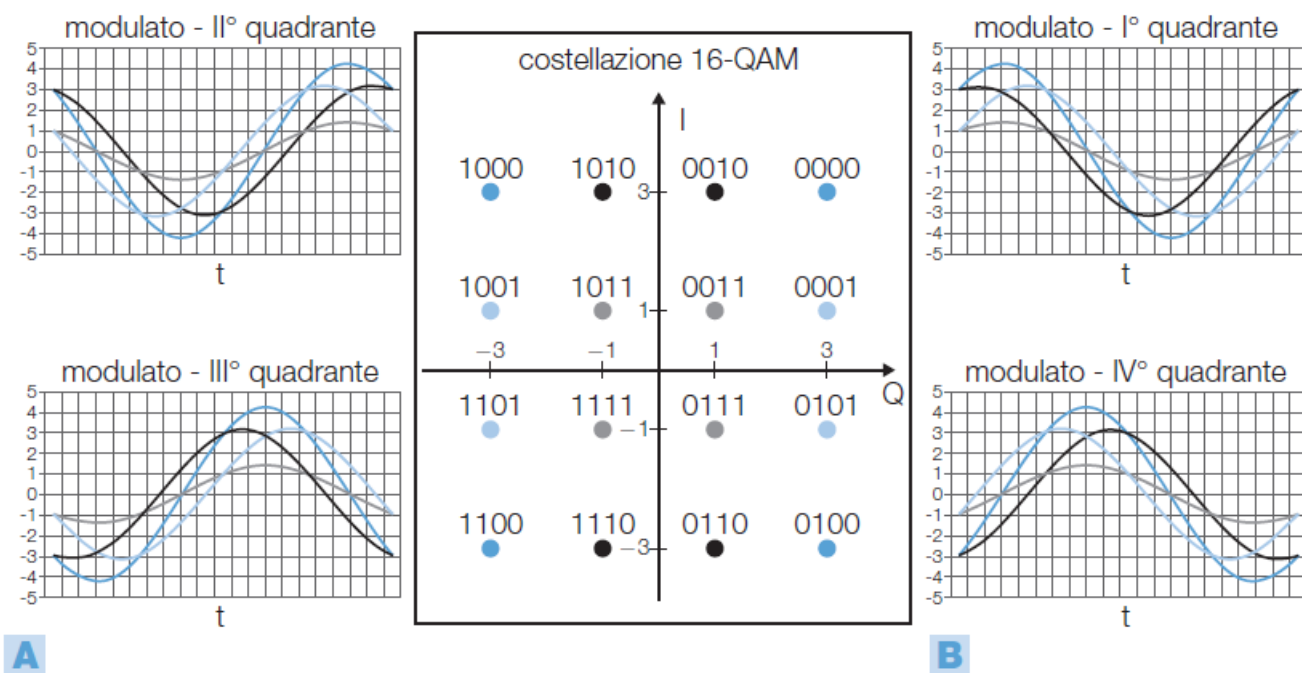
CO2 Architetture di protocolli nei sistemi di reti interconnesse.

CO5 Caratteristiche fondamentali dei router e modalità di configurazione del routing.

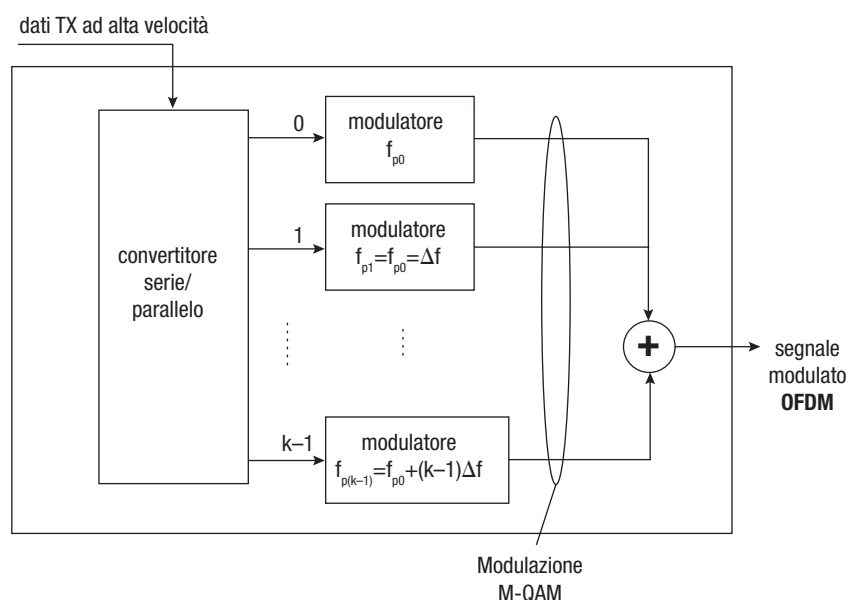
CO6 Apparat e tecniche per sistemi di trasmissione digitali in banda base e in banda traslata. tecniche di trasmissione a larga banda.

AB3 Scegliere e realizzare la configurazione base di un router.

AB4 Scegliere apparati, interfacce e mezzo trasmissivo per un sistema di trasmissione digitale in banda base o in banda traslata.



Si può poi aggiungere che nella pratica gli standard Wi-Fi IEEE 802.11n e 802.11ac adottano la tecnica di trasmissione a larga banda OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), considerabile come la moltiplicazione a divisione di frequenza (ortogonale) di un gran numero di sottoportanti sinusoidali ognuna delle quali viene modulata con la tecnica M-QAM. Per i dettagli e lo schema si veda il Cap. 8 Par. 7.2 del testo, da cui è tratto il seguente schema di principio.

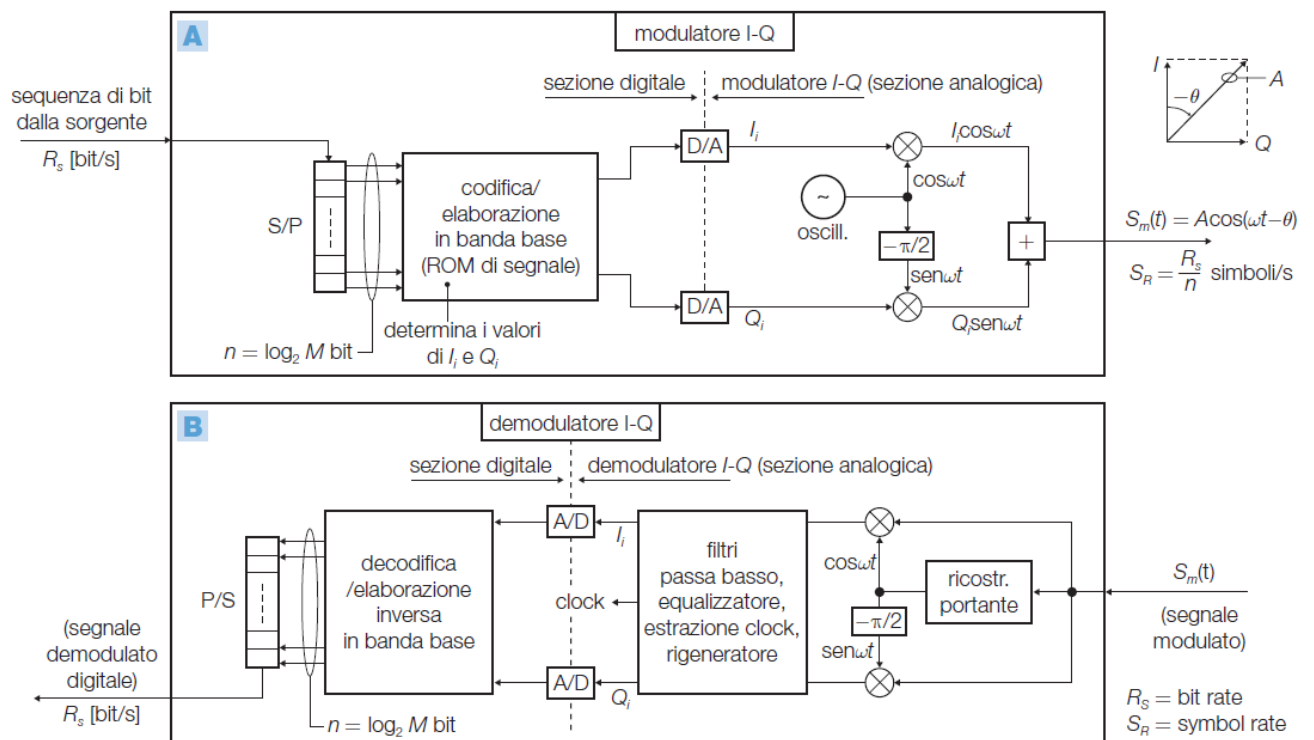


Schema di principio della tecnica OFDM, con k modulatori M-QAM

2. Proponga e descriva lo schema a blocchi, di principio, di un modulatore/demodulatore che realizza la tecnica di modulazione impiegata sul collegamento radio tra il sito principale e il sito A, evidenziando quale legame esiste tra velocità di informazione

lorda (frequenza di cifra o bit rate lordo) e velocità di modulazione (symbol rate o baud rate) e su quale parametro si può agire per aumentare il *bit rate* senza aumentare la velocità di modulazione (*symbol rate*) e la banda di canale occupata.

La modulazione M-QAM è realizzata dal modulatore/demodulatore I-Q, che impiega due portanti isofrequenziali poste in quadratura, cioè sfasate di 90° (una di tipo coseno e una di tipo seno). Per la descrizione dettagliata si rimanda al Cap. 8 Par. 6 del testo, da cui è tratto il seguente schema di principio



Schema di principio di un modulatore/demodulatore M-QAM.

Nella modulazione M-QAM uno stato di modulazione è dato da una delle M combinazioni di ampiezza e fase di un segnale sinusoidale modulato; inoltre ciascuno stato trasporta $n = \log_2(M)$ bit.

Nel caso in esame quindi sono associati $n = \log_2(64) = 6$ bit a ciascuno stato.

Il legame tra bit rate lordo (BR), espresso in bit/s, e symbol rate (SR), o velocità di modulazione, espressa in simboli/s o in Baud, è il seguente:

$$BR = SR \cdot \log_2(M) = n \cdot SR \text{ bit/s}$$

Dove M è il numero di stati di modulazione, corrispondenti ai punti che compongono la costellazione della modulazione.

Nel caso in esame di modulazione 64-QAM il legame è così il seguente

$$BR = SR \cdot \log_2(64) = 6 \cdot SR \text{ bit/s}$$

Se si utilizzasse la modulazione M-QAM pura, con una singola frequenza portante, un bit rate pari a 200 Mbit/s determina un symbol rate pari a:

$$SR = \frac{BR}{6} = \frac{200 \cdot 10^6}{6} = 33,3 \frac{MSimboli}{s} \text{ (o Baud)}$$

Poiché l'occupazione di banda di un segnale modulato M-QAM in prima approssimazione è all'incirca pari alla velocità di modulazione, si ha:

$$B_{Modulato} \cong SR \cong 34 \text{ MHz}$$

La banda rientra ampiamente nelle banda di canale (80 MHz).

Viceversa una banda di canale di 80 MHz può supportare un symbol rate all'incirca pari a 80 Msimboli/s, per cui occupando l'intera banda a disposizione, nel caso in esame il bit rate lordo massimo arriva a circa

$$BR_{max} = SR \cdot \log_2(64) = 6 \cdot 80 \cdot 10^6 = 480 \text{ Mbit/s}$$

Per aumentare il bit rate senza aumentare la velocità di modulazione (SR) e la banda di canale è possibile agire sul numero di stati M, aumentandolo.

Infatti se si adotta la modulazione QAM a M=256 stati (256-QAM), che associa

$n = \log_2(256) = 8 \text{ bit}$ a ciascuno stato di modulazione, a parità di banda di canale e quindi di symbol rate si ha che il bit rate massimo aumenta e diventa pari a:

$$BR_{max} = SR \cdot \log_2(256) = (80 \cdot 10^6) \cdot 8 = 640 \text{ Mbit/s}$$

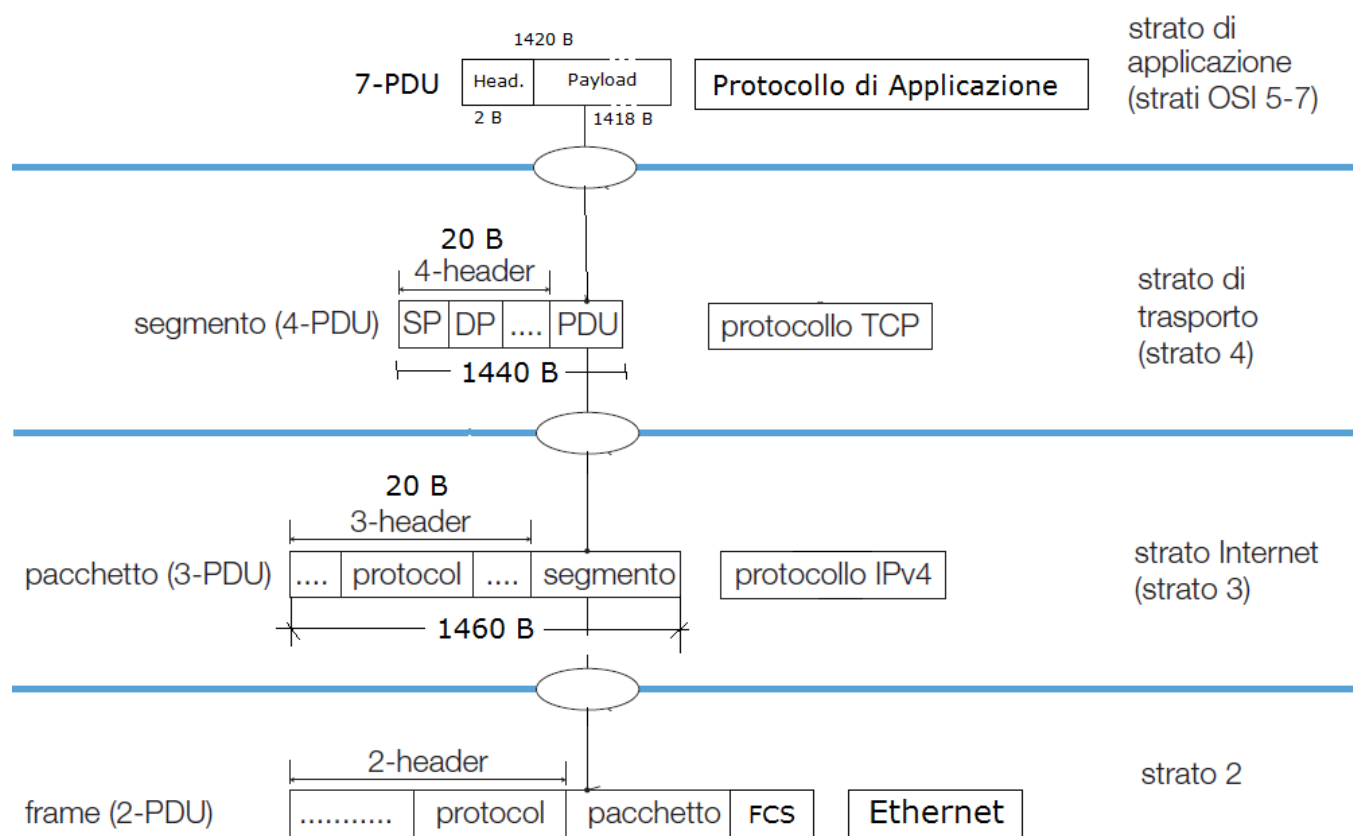
Se si desidera mantenere all'incirca costante la probabilità d'errore all'aumentare del numero di stati M è necessario però operare con un rapporto S/N, e quindi un Eb/No, più alto, si veda il grafico fornito con il testo della simulazione.

In alternativa è possibile utilizzare la tecnica di correzione d'errore FEC (Forward Error Correction) realizzando la modulazione TCM-QAM (Trellis Coded Modulation – QAM).

Per ulteriori dettagli si veda il libro di testo.

3. Posizionandosi sul lato LAN dell'infrastruttura di rete, il candidato descriva secondo l'architettura dei protocolli TCP/IP come avviene l'incapsulamento delle PDU (Protocol Data Unit) dei protocolli che intervengono quando un'applicazione server residente in un host del sito principale invia dei dati a un'applicazione client residente in un host del sito B, emettendo delle 7-PDU composte da un header di 2 B e da un payload di 1418 B, impiegando un protocollo di trasporto di tipo *connection-oriented*, con riscontro e controllo di flusso e determini la dimensione totale, in Byte, di un pacchetto IPv4.

L'architettura dei protocolli TCP/IP viene illustrata nel Cap.1 Par. 5 del libro di testo, a cui si rimanda, e richiede la conoscenza del Modello ISO/OSI presentato nel Par. 2. Per il caso proposto è possibile fare riferimento alla Fig. 7 Par. 5.3 Cap. 1, modificandola come indicato qui di seguito:



Incapsulamento delle PDU

Come mostrato in figura, poiché la 7-PDU ha dimensione pari a 1420 B, l'header di un segmento TCP è di 20 B, l'header di un pacchetto IPv4 è di 20 B, la dimensione totale di un pacchetto IPv4 è pari a

$$D_{IPv4} = 1420 + 20 + 20 = 1460 \text{ B}$$

4. Illustri in cosa consiste il routing, quali differenze esistono fra routing statico e routing dinamico, quali parametri stabiliscono le priorità nella scelta di percorsi diversi che da una sorgente portano verso una stessa rete di destinazione.

Per la descrizione del routing, delle differenze fra routing statico e dinamico, per una descrizione dettagliata dei protocolli di routing RIP e OSPF si rimanda al Cap. 6 Parr. 4, 5. I parametri che consentono di stabilire delle priorità nella scelta dei percorsi (o route o rotte) sono i seguenti:

- **Distanza amministrativa**, consente di stabilire le priorità tra le route offerte da sorgenti di routing diverse (routing statico, protocollo OSPF, protocollo RIP, ecc.), come indicato nella Tabella 1 del Par. 4 Cap. 6 sotto riportata;
- **metrica**, consente di stabilire delle priorità tra le route offerte da una stessa sorgente di routing;

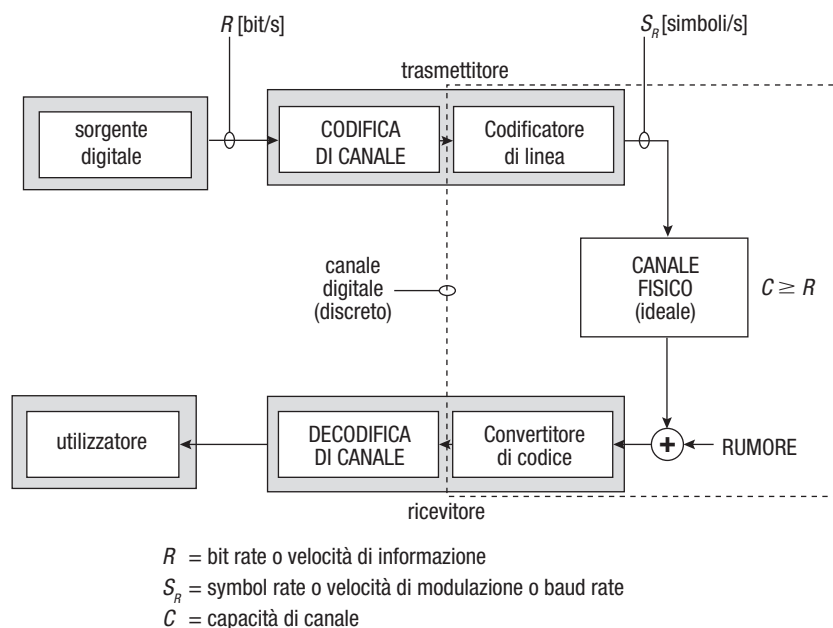
Viene scelta e inserita nella tabella di routing la route che ha i valori Distanza;metrica minori.

Metodo di routing	Sorgente di routing	Distanza amministrativa (default)
Routing statico	Rete direttamente connessa a un'interfaccia	0
	Route statica	1
Routing dinamico (protocolli di routing)	BGP	20
	EIGRP	90
	OSPF	110
	IS-IS	115
	RIP	120

Distanze amministrative di default delle sorgenti di routing

5. Illustri lo schema a blocchi di un modello adatto a descrivere, in linea di principio, un sistema di trasmissione digitale che opera in banda base, evidenziando come si calcola la capacità di canale secondo Shannon e come essa può essere aumentata senza modificare la banda del canale stesso.

Uno schema a blocchi di principio di un sistema di trasmissione digitale che opera in banda base, e quindi su un canale passa basso, può essere ricavato adattando lo schema di un sistema di trasmissione digitale mostrato nella Figura 1 del Cap. 8, Par. 2, in cui al termine modulatore si sostituisce il termine codificatore di linea e al termine demodulatore si sostituisce quello di convertitore di codice



Schema a blocchi di principio di un sistema di trasmissione digitale in banda base

Per la sua descrizione dettagliata si rimanda al libro testo stesso.

Il calcolo della capacità di canale secondo Shannon viene trattato nel Cap. 8 Par. 3.2, a cui si rimanda per i dettagli. Dalla formula di calcolo della capacità di canale (C)

$$C = B_{Hz} \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad \text{bit/s}$$

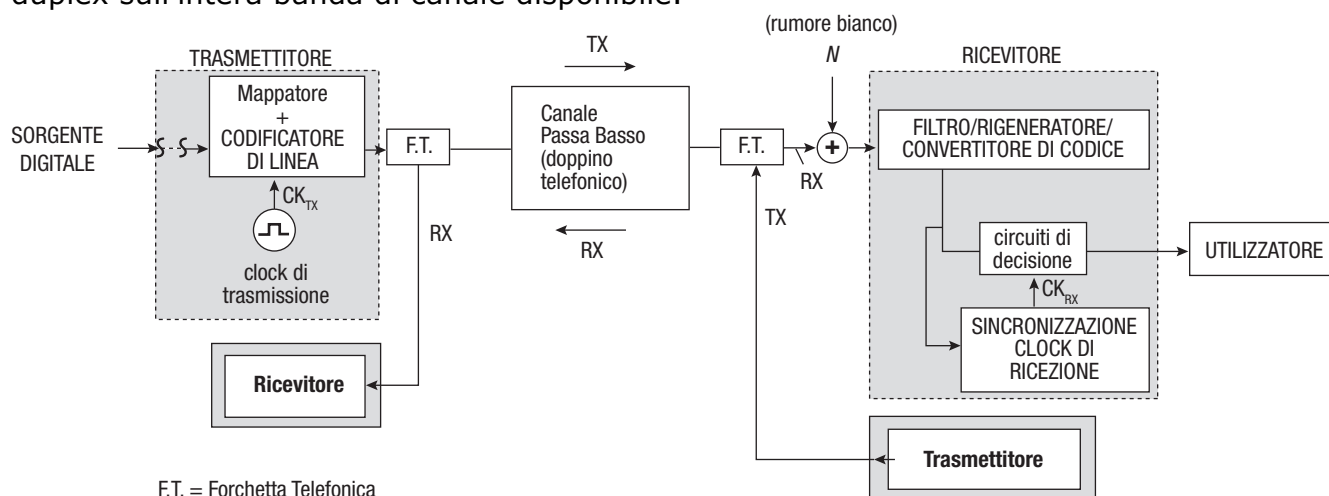
si deduce che la capacità di canale può essere aumentata senza modificare la banda di canale (B_{Hz}) aumentando il rapporto Segnale/Rumore (S/N), quindi aumentando la potenza in trasmissione e/o diminuendo la potenza di rumore (eliminando delle sorgenti di rumore con schermature, ecc.). Infatti ciò consente di aumentare il numero di stati (livelli nel caso di trasmissione in banda base) con cui si trasmette e quindi di aumentare il bit rate a parità di symbol rate.

6. Illustri una tecnica di trasmissione che può essere impiegata su un collegamento geografico cablato operante in banda base, e proponga lo schema a blocchi, di principio, di un ricetrasmittitore che la realizza.

Su un collegamento in banda base si adotta come tecnica di trasmissione una codifica di linea, descritta nel Cap. 3 Par. 2.3 e nel Cap. 8 Parr. 3.2 e 4.2.

Come esempio di codifica di linea si può illustrare la codifica multilivello PAM-4 (Pulse Amplitude Modulation - 4 livelli), nota anche come 2B-1Q (si veda il Cap. 3 Par. 2.3) e indicare che i modem banda base in tecnologia SHDSL impiegano una sua evoluzione, la PAM-16, a 16 livelli.

Lo schema a blocchi di principio di un ricetrasmittitore può essere quello della Figura 5 Par. 4.2 Cap. 8 del libro testo, modificata associando al codificatore di linea un codificatore di canale che esegue la mappatura dei bit sui livelli di segnale e riunendo in entrambe le estremità il lato trasmissione e il lato ricezione, prendendo spunto dalla Fig. 9 del Par. 4.1 Cap. 9. Si può far notare che nel caso si utilizzi una sola linea per trasmettere e ricevere è possibile utilizzare una Forchetta Telefonica (FT) per separare i sensi di trasmissione e ricezione, nonché impiegare la cancellazione d'eco per consentire una trasmissione full-duplex sull'intera banda di canale disponibile.



Schema di principio di un ricetrasmittitore che opera in banda base su singolo doppino telefonico

Libro di testo consigliato
Onelio Bertazioli
Corso di Telecomunicazioni vol. 3
Ed. Zanichelli

Si consiglia inoltre la consultazione del seguente manuale:
AA. VV.
Manuale Cremonese di Informatica e Telecomunicazioni
Ed. Zanichelli