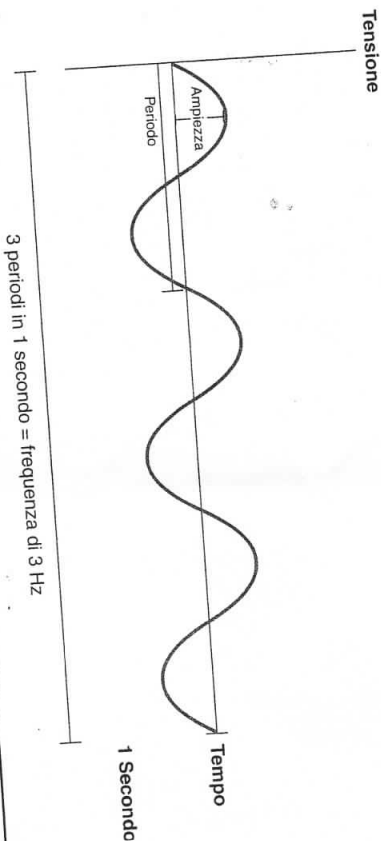


Figura 3.5 Tensione alternata visualizzata sullo schermo di un oscilloscopio.



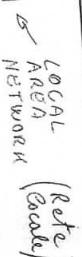
**NOTA** I circuiti elettrici si possono distinguere tra circuiti in parallelo e circuiti in serie. I circuiti illustrati in questo capitolo e utilizzati nelle trasmissioni digitali appartengono alla categoria dei circuiti in serie.

Si deve infine ricordare che l'elettricità scorre in modo naturale verso il potenziale della Terra, o più semplicemente *terra*, a condizione che esista un collegamento. In effetti, dato che la Terra è un buon conduttore, può entrare a far parte di un circuito elettrico. Quando si installano router, switch e altri dispositivi di elaborazione dati, le istruzioni di installazione suggeriscono in genere di collegare il dispositivo a terra. La messa a terra, ovvero il collegamento di un circuito verso terra, protegge l'apparato elettrico da correnti indesiderate e prodotte per esempio da una sovrattensione. Nelle misure elettriche, il potenziale di terra coincide in genere con il livello di 0 V.



**Laboratorio 3.1.5** Circuiti in serie  
Questa attività di laboratorio permette di costruire e di studiare le proprietà dei circuiti in serie.

### Cablaggio in rame tipico delle reti LAN



È sicuramente importante conoscere gli elementi di fisica e di chimica che riguardano l'elettricità, ma non va dimenticato che è altrettanto importante conoscere gli standard di cablaggio da rispettare nelle attività eseguite da chi realizza le reti di trasmissione. Le spiegazioni precedenti hanno illustrato come scorre la corrente elettrica in un filo, mentre gli standard di cablaggio definiscono regole e requisiti che riguardano un determinato tipo di cavo. I cavi sono composti da uno o più fili in rame, condotti come l'elettricità e possono essere utilizzati quando si codificano 0 e 1 binari come segnali elettrici distinti.

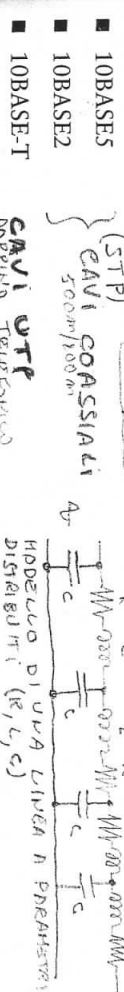
Gli organismi TIA (Telecommunications Industry Association) e EIA (Electronic Industries Alliance) hanno stabilito in collaborazione tra loro le specifiche degli standard di cablaggio LAN. Lo standard più conosciuto è definito dalle specifiche TIA/EIA-568-B e riguarda i cavi di telecomunicazione più utilizzati nelle reti LAN odierne. Questi standard definiscono regole e requisiti relativi ai cavi UTP (Unshielded Twisted Pair) e la disposizione dei pin dei connettori presenti alle due estremità dei cavi.

L'Istituto IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) definisce gli standard relativi alle reti LAN all'interno della famiglia di specifiche IEEE 802.3, che riguardano tutti i tipi di reti Ethernet. Gli standard IEEE definiscono i requisiti dei cablaggi LAN facendo riferimento al lavoro svolto da altri organismi che si occupano di standard, per esempio TIA/EIA.

Quando si leggono le indicazioni relative a un determinato tipo di cavo di rete, occorre sempre valutare i termini di confronto definiti di seguito.

- Quali velocità di trasmissione si possono raggiungere? Il tipo di cavo utilizzato impone un limite alla velocità con la quale i dati possono scorrere nel cavo. \*
- La trasmissione può essere digitale oppure analogica? Le trasmissioni digitali o analogiche possono richiedere tipi diversi di cavi.
- Quale distanza può essere raggiunta da un segnale prima che l'attenuazione diventi significativa? Se il segnale viene attenuato, i dispositivi di rete possono non essere più in grado di riceverlo e interpretarlo. La distanza raggiunta da un segnale in un cavo influenza l'attenuazione del segnale e il tipo di deformazione che si verifica in un segnale è strettamente legato alla distanza raggiunta dal segnale e al tipo di cavo utilizzato.

Le specifiche IEEE 802.3 definiscono diversi tipi di reti Ethernet che possono variare nella velocità di trasmissione, nel tipo di cavo supportato e nella lunghezza massima di un singolo cavo. Alcuni nomi utilizzati da IEEE forniscono un'indicazione sulla velocità e sul tipo di cavo, come è già stato accennato nel Capitolo 2. Si può per esempio ricordare l'elenco seguente, che riporta i tre tipi storici di reti Ethernet definiti dalle specifiche IEEE 802.3.



In queste sigle, il numero iniziale indica la velocità di trasmissione, dove 10 corrisponde a 10 Mbps. Il termine BASE identifica le tecniche di trasmissione in banda base adottate da queste reti Ethernet, mentre la sigla finale fornisce un riferimento al tipo di cablaggio. Le cifre 5 e 2 corrispondono a un cablaggio coassiale che può utilizzare rispettivamente singoli cavi di lunghezza approssimativa pari a 500 e a 200 m; la lettera T indica invece il cablaggio con cavi UTP.

Il rumore e l'attenuazione limitano la distanza che può essere raggiunta da un cavo Ethernet. Si consideri per esempio il tipo di rete Ethernet originale, 10BASE5, che utilizza uno spesso cavo coassiale. In base alla definizione, una scheda NIC (Network Interface Card) Ethernet può inviare un segnale elettrico a 500 m di distanza lungo

\* ogni mezzo trasmissivo (o canale di comunicazione) ha una velocità massima di trasmissione (o velocità di trasmissione) che dipende dalla tecnologia utilizzata. In base alla definizione, una scheda NIC (Network Interface Card) Ethernet può inviare un segnale elettrico a 500 m di distanza lungo

**NOTA** Questi standard Ethernet sono riportati nell'ordine definito dalle specifiche IEEE. Le sigle 10BASE5 e 10BASE2 non indicano il tipo di cablaggio, mentre gli standard successivi, a partire da 10BASE-T, includono una lettera, per esempio "T", che indica il tipo di cablaggio.

**NOTA** La sigla STP corrisponde anche a "Spanning Tree Protocol", protocollo che verrà illustrato nel Capitolo 8.

un cavo prima che l'attenuazione e il rumore rendano incomprensibile un segnale elettrico. Si tratta di una situazione analoga a quella in cui si vuole parlare con qualcuno a una certa distanza: è più difficile riuscire a farsi comprendere man mano che ci si allontana oppure quando aumentano i rumori di fondo.

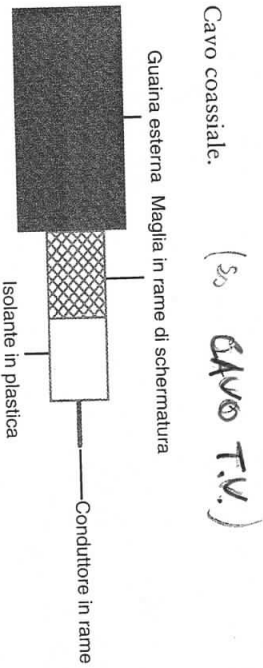
I prossimi due paragrafi spiegano alcune caratteristiche dei cavi coassiali, dei cavi STP (*Shielded Twisted Pair*) e dei cavi UTP. Si presterà maggiore attenzione ai cavi UTP, che tra queste soluzioni, sono maggiormente utilizzati.

### Cavo coassiale

Il cavo coassiale è schematizzato nella Figura 3.6 ed è costituito dalle quattro parti principali indicate di seguito:

- conduttore centrale in rame
- isolante in plastica
- maglia in rame di schermatura
- guaina esterna.

Figura 3.6 Cavo coassiale.



Il conduttore rigido in rame al centro del cavo offre il percorso elettrico di conduzione per la corrente. È sufficiente collegare in modo appropriato un cavo a due schede NIC Ethernet per garantire la possibilità di inviare segnali elettrici da una scheda all'altra. Per inviare bit da una scheda all'altra è sufficiente poi modulare il segnale elettrico rispettando un insieme di regole di codifica. Fintanto che mittente e destinatario continuano a rispettare le medesime regole, sono in grado di inviarsi l'un l'altro dei segnali elettrici.

**NOTA** I termini elettrici schermo e schermatura fanno riferimento a un materiale che protegge un determinato segnale elettrico nei confronti di altri segnali elettrici vicini.

Il ruolo del conduttore in rame è senza dubbio importante, ma non si deve dimenticare che sono importanti anche gli altri elementi che compongono il cavo. Lo strato isolante in plastica flessibile che circonda il conduttore facilita per esempio la riduzione dell'attenuazione del segnale che si propaga nel conduttore. La schermatura costituita dalla maglia in rame funziona da protezione aggiuntiva rispetto al rumore elettromagnetico esterno e realizza anche il secondo percorso di conduzione per la corrente. Questa schermatura è ricoperta dalla guaina esterna, che aumenta la consistenza del cavo in modo che non possa spezzarsi quando viene inserito nelle tracce.

Le reti LAN odierne non adottano più gli standard 10BASE5 e 10BASE2, che sono i due soli standard Ethernet IEEE che richiedono l'utilizzo di cavi coassiali. Si deve tenere conto che il cavo coassiale presenta gli svantaggi indicati di seguito.

- Il cavo coassiale può essere steso con meno segmenti di separazione tra i ripetitori per coprire grandi distanze rispetto ai nodi di rete realizzati con cavi STP oppure UTP.
- Il cavo coassiale costa meno del cavo in fibra ottica, anche se risulta più caro dei cavi UTP e STP.
- La tecnologia del cavo coassiale è ben nota in quanto viene utilizzato da anni in diversi generi di trasmissione dati. Il cavo coassiale viene per esempio utilizzato nelle case statunitensi per far arrivare i segnali della televisione via cavo per consentire l'accesso a Internet ad alta velocità.

Le specifiche IEEE sono passate dal cavo coassiale spesso al cavo coassiale più sottile (10BASE2) e al cavo UTP (10BASE-T) per diminuire i costi di cablaggio e semplificare le procedure di installazione. Il cavo 10BASE5 è abbastanza spesso, di diametro pari a circa 1 cm, era ingombrante e difficile da realizzare. Nonostante presentasse indubbi vantaggi, in quanto per esempio consentiva di avere un unico cavo lungo fino a 500 m, i costi di installazione e la difficoltà d'uso lo fecero presto considerare come una soluzione poco pratica. Per questo motivo venne introdotto lo standard IEEE denominato 10BASE2, che utilizza un cavo coassiale più sottile (poco meno della metà del diametro di un cavo 10BASE5). La Figura 3.7 mostra i cavi in un scala abbastanza vicina a quella reale.

In base allo spessore, i cavi delle reti 10BASE5 e 10BASE2 prendono rispettivamente anche il nome di cavi *Thicknet* e *Thinnet*. Dato che il cavo più sottile era più economico da acquistare e da installare, la rete 10BASE2 era nota anche con il nome di *Cheapernet*, dall'inglese *cheaper* ovvero più economico.

\* OTTIE UNA CERTA FREQUENZA DI CAVOLO IL SEPARARE  
 VIAGGIARE ATTRAVERSO L'ISOLANTE SOTTO FORMA DI ONDA  
 ELETTRICA MAQUETTA CON VOGLIATA DA UNA CABA METALLICA.  
 IL FILLO CENTRALE E' UNO DA ANTENNA. SI HA UN  
 FENOMENO SIMILE A QUELLO DELLE GOLPE DI FONDA

Figura 3.7 Cavi coassiali Thicknet e Thinnet.



### Cavo STP

I cavi coassiali prevedono un'ampia forma di schermatura, in grado di fornire un segnale elettrico più pulito riducendo così attenuazione e rumore, il che permette di sventare cavi più lunghi. La schermatura contribuisce però anche a evidenziare gli aspetti negativi dei cavi coassiali, rendendoli più costosi, pesanti e difficili da piegare in fase di installazione.

Le versioni perfezionate da IEEE degli standard relativi alle reti LAN inclusero nel tempo altri tipi di soluzione che si aggiunsero alle reti Ethernet, allo scopo di definire una serie di specifiche che riguardassero cablaggi di rete a basso costo in grado di funzionare altrettanto bene. Le due categorie principali di queste nuove soluzioni riguardarono i cavi *STP (Shielded Twisted Pair)* e *UTP (Unshielded Twisted Pair)*. Come suggeriscono le rispettive sigle, il cavo STP prevede una schermatura, a differenza del cavo UTP che non presenta un'apposita schermatura. Di conseguenza, il cavo STP è più caro del cavo UTP e risulta leggermente più difficile da installare, ma presenta caratteristiche migliori. In effetti, le prime specifiche IEEE sulle reti LAN che utilizzavano cavi UTP convinsero molte aziende a impiegare soluzioni di questo tipo nelle reti LAN delle proprie aziende.

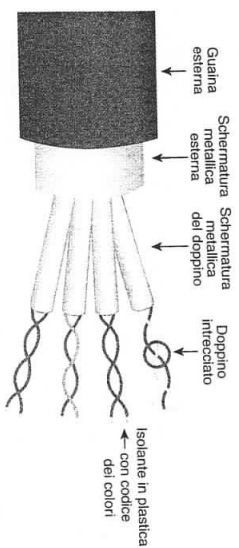
Il cavo STP contiene una serie di coppie di sottili fili in rame e impiega tre forme di isolamento.

- Ciascun filo è ricoperto da un isolante in plastica colorata.
- Ciascuna coppia di fili viene intrecciata e avvolta da un foglio metallico che costituisce una schermatura del doppino che si viene così a formare.
- I doppiini contenuti nel cavo (in genere quattro doppiini, a volte due) sono a loro volta ricoperti da un ulteriore schermo metallico ricoperto da una guaina di materiale isolante.

La Figura 3.8 mostra un esempio di cavo STP.

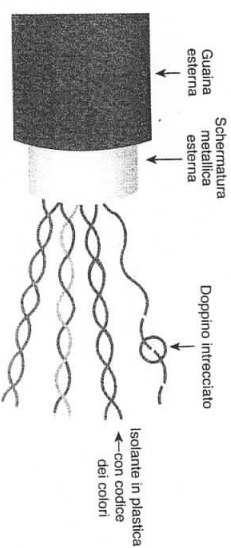
**NOTA** L'intreccio dei fili, detto più correttamente *binatura*, riduce l'effetto delle interferenze elettriche. I dispositivi di rete odierni utilizzano un cablaggio in rame basato su coppie intrecciate di fili.

Figura 3.8 Cavo STP.



È possibile utilizzare una variante più economica del cavo STP, che prende il nome di cavo *ScTP (Screened Twisted Pair)*. Questo cavo viene chiamato anche FTP (*Foil Twisted Pair*) e si limita a escludere le schermature dei doppiini previste invece in un cavo STP, come si può vedere nella Figura 3.9.

Figura 3.9 ScTP.



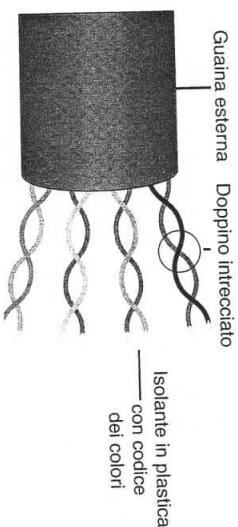
Oggi il cablaggio STP, oppure ScTP, rappresenta una soluzione molto meno diffusa rispetto al cablaggio UTP. Il motivo principale di questa diffusione meno significativa è legata al fatto che i cavi UTP funzionano senza problemi, sono meno costosi e risultano più semplici da lavorare rispetto ai cavi STP. Uno dei motivi per cui il cavo STP è più difficile da installare dipende dal fatto che la schermatura metallica del cavo deve essere collegata a terra. Se non vengono installati correttamente, i cavi STP e ScTP sono soggetti a problemi di rumore, in quanto una schermatura non collegata a terra funziona come antenna che può ricevere segnali indesiderati. I cavi STP e ScTP non offrono inoltre alcun vantaggio in merito alla lunghezza dei cavi rispetto alla soluzione UTP.

Anche i cavi STP possono comunque presentare dei vantaggi. Si consideri per esempio tutte quelle situazioni fisiche che presentano una grande quantità di interferenze elettriche: in queste situazioni, il cavo UTP può non funzionare bene, mentre l'impiego di cavi STP può rappresentare una soluzione pratica e perfino più economica.

## Cavo UTP

Il cavo *UTP* (*Unshielded Twisted Pair*) è composto da una serie di doppiini di fili in rame intrecciati tra loro e ricoperti di isolante in plastica colorata. I doppiini di fili sono poi a loro volta ricoperti da una guaina esterna in plastica. Rispetto a un cavo STP, mancano semplicemente le schermature dei doppiini e la schermatura complessiva del cavo. Nella Figura 3.10 si può vedere un cavo UTP.

Figura 3.10 Cavo UTP.



Il cavo UTP presenta i vantaggi indicati di seguito.

- Non richiede una messa a terra, a differenza dei cavi STP, pertanto è più facile stendere il cavo e aggiungere i connettori alle estremità.
- Il diametro di questo cavo è relativamente piccolo e lo rende più flessibile, per cui è più facile da lavorare. Il diametro ridotto si traduce anche nel fatto che il cavo UTP si può adattare facilmente alle tracce, rispetto al cavo coassiale di tipo STP.
- Supporta le stesse velocità di trasmissione di dati che vengono supportati da altri mezzi trasmissivi in rame.

Il principale svantaggio del cavo UTP è costituito dal fatto che è maggiormente soggetto al rumore elettrico e alle interferenze rispetto ad altri tipi di mezzi trasmissivi impiegati nelle reti. Dato che in pratica non prevede alcuna schermatura, l'unico metodo adottato da un cavo UTP per ridurre le interferenze consiste nell'effetto di cancellazione che si ottiene intrecciando il doppiino di fili. È interessante osservare che nel tempo i cavi UTP sono stati perfezionati aggiungendo più intrecci per ogni metro di cavo. Rispetto ai cavi coassiali e in fibra ottica, i cavi UTP supportano distanze di cablaggio inferiore, che in genere si aggirano intorno ai 100 metri nel caso di reti LAN Ethernet.

I cavi UTP presentano molte caratteristiche importanti e utili, pertanto sono state create molte varianti negli standard relativi al cablaggio UTP. I cavi richiedono inoltre la presenza di connettori alle estremità del cavo stesso che permettano di collegare facilmente i cavi a router, switch e schede NIC. I prossimi paragrafi illustrano i diversi standard e i connettori UTP, oltre a spiegare il pinout dei cavi UTP, ovvero la disposizione dei fili rispetto ai connettori presenti alle due estremità del cavo.

## Standard del cablaggio UTP delle reti LAN

Le reti LAN vennero introdotte negli anni Settanta, mentre i primi standard statunitensi e internazionali relativi alle reti LAN risalgono agli anni Ottanta. Negli anni Novanta Ethernet divenne lo standard di queste reti: nei primi anni Novanta si potevano raggiungere velocità di 10 Mbps, per passare poi a 100 Mbps e arrivare alla fine del decennio a velocità di 1000 Mbps (1 Gbps). In questi anni si sta verificando una tendenza a un nuovo aumento nella velocità di trasmissione dati: sono ora disponibili schede NIC per PC di tipo Ethernet a 1 Gbps e verranno presto introdotti nel mercato prodotti Ethernet a 10 Gbps.

Per definire standard Ethernet sempre più veloci, gli organismi che si occupano di standard stanno svolgendo un complesso lavoro di sviluppo, in modo da realizzare cavi più efficienti e in grado di supportare velocità di ordine superiore. Gran parte del lavoro di sviluppo è legato agli effetti del passaggio di corrente elettrica nei fili dei cavi. Per supportare i diversi standard Ethernet, l'organismo TIA/EIA ha definito le specifiche che riguardano le diverse categorie di cavi UTP, riepilogate nella Tabella 3.3. Più alta è la categoria di un cavo, migliore sarà la sua capacità di trasportare flussi di dati elevati.

Tabella 3.3 Categorie dei cavi TIA/EIA.

Categoria del cavo UTP	Utilizzo tipico	Commenti
Categoria 1	Telefoni analogici	Non è adatto per la trasmissione di dati.
Categoria 2	Token Ring	Supporta trasmissioni Token Ring a 4 Mbps.
Categoria 3	Telefoni e reti 10BASE-T	Lo standard 10BASE-T venne creato negli anni Ottanta tenendo presente il vincolo di poter essere usato sulle pre-esistenti installazioni di cavi in Categoria 3.
Categoria 4	Token Ring	Supporta trasmissioni Token Ring a 16 Mbps.
Categoria 5	Ethernet	Supporta le reti 10BASE-T e 100BASE-T.
Categoria 5e	Ethernet	Utilizza gli stessi cavi di Categoria 5, ma con requisiti più restrittivi per quanto riguarda i connettori e verifica dei cavi; supporta le reti Gigabit Ethernet.
Categoria 6	Ethernet	Supporta ufficialmente le reti Ethernet a 1 Gbps, ma si sta sviluppando l'utilizzo di cavi Categoria 6 nelle reti Ethernet a 10 Gbps.

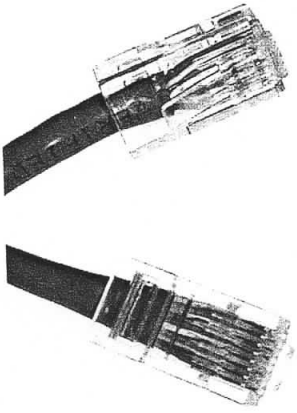
## Pinout dei cavi UTP

Oltre alle caratteristiche elettriche dei cavi, gli standard TIA/EIA definiscono i connettori e i pinout da utilizzare con i diversi cavi. Nel caso di reti Ethernet, ciascun cavo UTP prevede un connettore costituito da un connettore *RJ-45* (*Registered Jack 45*) alle due estremità del cavo. Questo connettore presenta otto slot numerati in cui vanno inseriti gli otto fili del cavo.

Nel gergo delle reti, i fili prendono il nome di pin, mentre la disposizione numerata dei fili all'interno del connettore prende il nome di *pinout*. La definizione del pinout stabilisce la corretta disposizione dei pin alle due estremità del cavo e dipende dal tipo di cavo da realizzare.

La Figura 3.11 mostra un connettore RJ-45 utilizzato in un cablaggio Ethernet con cavi UTP. Se si osserva da vicino si possono notare gli otto fili del cavo all'interno del connettore trasparente RJ-45.

Figura 3.11 Connettore RJ-45.



I pin del connettore definiscono la posizione precisa in cui vanno inseriti i fili in rame del cavo per stabilire il contatto elettrico del connettore. Di conseguenza, quando i connettori delle due estremità di un cavo vengono inseriti in una scheda NIC del PC e in una porta di un switch o di un hub, la scheda NIC e il dispositivo switch/hub stabiliscono un circuito elettrico completo. Questi dispositivi possono a questo punto utilizzare i circuiti elettrici così definiti per trasmettere dati l'uno con l'altro.

**NOTA** L'osservazione di un connettore RJ-45 a una delle estremità di un cavo UTP può rivelare più dettagli rispetto a quelli mostrati nella Figura 3.11; ancora meglio si può fare osservando un connettore RJ-45 non ancora collegato al cavo. La procedura di collegamento del connettore all'estremità del cavo prende il nome di crimpatura.

**NOTA** Dato che il cavo è costituito da quattro coppie (otto fili), i dispositivi di rete hanno a disposizione quattro distinti circuiti elettrici da utilizzare su un singolo cavo. Ciascuna coppia di fili genera un circuito completo su cui è possibile far scorrere la corrente.

Prima di esaminare in dettaglio il pinout del cavo occorre ribadire un concetto che riguarda il funzionamento delle reti Ethernet a 10 Mbps e 100 Mbps.

■ I dispositivi Ethernet delle reti a 10 Mbps e 100 Mbps utilizzano un doppio di fili per trasmettere i dati e un altro doppio per riceverli.

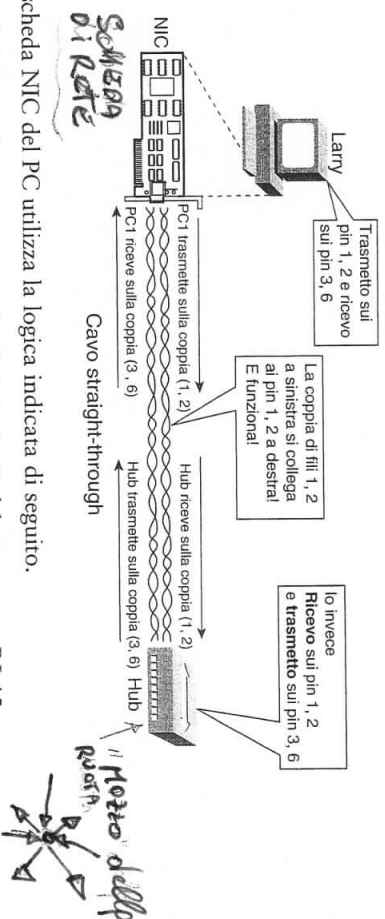
*TRASMISSIONE DATI PER*

In definitiva, i dispositivi Ethernet delle reti a 10 Mbps e 100 Mbps che impiegano cavi UTP utilizzano due doppi di filo in rame. Il tipo di cablaggio definito dal pinout dipende dalla logica di utilizzo di ciascun doppio.

### Cavi Ethernet straight-through e rispettivi pinout

Un cavo utilizzato in genere tra un dispositivo utente e un hub o uno switch della rete LAN corrisponde a un tipo di cavo che prende il nome di *cavo straight-through*. Per valutare come funziona un cavo di questo tipo, si consideri la logica utilizzata tipicamente da una scheda NIC di un PC e una porta di un hub, illustrata nella Figura 3.12. La figura mostra anche la scheda NIC del PC all'esterno del dispositivo, per chiarire meglio il tipo di collegamento che si sta considerando.

Figura 3.12 Principio di funzionamento di un cavo Ethernet straight-through.



La scheda NIC del PC utilizza la logica indicata di seguito.

- Invia i dati sul doppio costituito dai pin 1 e 2 del connettore RJ-45.
- Attende di ricevere un segnale elettrico sul doppio costituito dai pin 3 e 6.

Gli hub e gli switch LAN tengono conto del funzionamento della scheda NIC e si comportano di conseguenza.

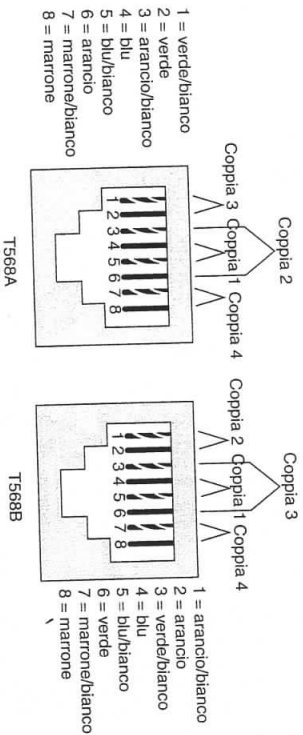
- Inviano i dati sui pin 3 e 6.
- Ricevono i segnali sui pin 1 e 2.

Per funzionare, il cablaggio richiede un cavo straight-through, che viene definito come segue.

Il filo inserito in un pin di una certa posizione a un'estremità del cavo deve essere collegato al pin della stessa posizione all'altra estremità del cavo stesso.

In altre parole, il filo collegato al pin 1 da una parte deve collegarsi al pin 1 dall'altra parte; il filo del pin 2 deve collegarsi con il pin 2 dall'altra parte, e così via. Per realizzare un cavo di questo tipo, sarebbe sufficiente collegare un filo da una parte in una determinata posizione di pin e dall'altra nella stessa posizione. Tuttavia gli standard TIA/EIA definiscono due specifiche, TIA/EIA-568-A e TIA/EIA-568-B, che devono essere rispettate quando si stabilisce il pinout del cavo da utilizzare, ovvero quando si decide quale filo inserire in una determinata posizione dei pin. La Figura 3.13 mostra i due pinout definiti dagli standard TIA da utilizzare per il cablaggio UTP.

Figura 3.13 Pinout standard TIA.



La Tabella 3.4 elenca i pinout relativi allo standard TIA/EIA-568-A, insieme all'indicazione dei colori utilizzati in genere per ciascuna delle otto posizioni dei pin di un connettore RJ-45.

Per realizzare un cavo straight-through, è sufficiente adottare uno dei pinout definiti dagli standard TIA/EIA-568-A oppure TIA/EIA-568-B per collegare i connettori a entrambe le estremità del cavo.

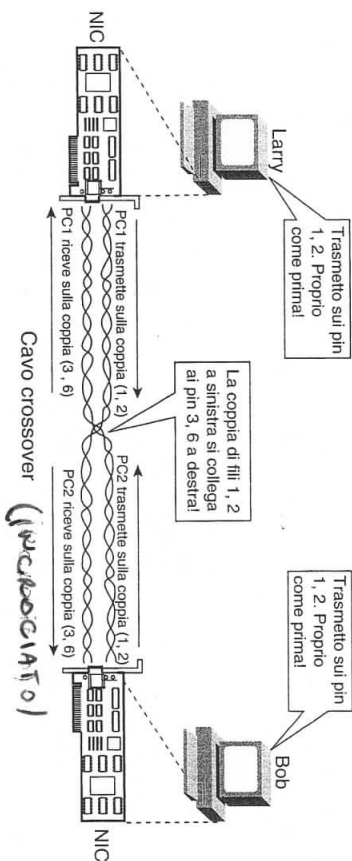
Tabella 3.4 Pinout TIA/EIA-568-A.

Numero di pin	Funzione TIA/EIA-568-A	Colore dell'isolante	Funzione TIA/EIA-568-B	Colore dell'isolante
1	TD+	bianco/verde	TD+	bianco/arancio
2	TD-	verde	TD-	arancio
3	RD+	bianco/arancio	RD+	bianco/verde
4	Non utilizzato	blu	Non utilizzato	blu
5	Non utilizzato	blu/bianco	Non utilizzato	blu/bianco
6	RD-	arancio	RD-	verde
7	Non utilizzato	marrone/bianco	Non utilizzato	marrone/bianco
8	Non utilizzato	marrone	Non utilizzato	marrone

## Pinout del cavo crossover (PCtoPCtoPCto)

In alcuni casi, è necessario collegare due dispositivi che inviano i dati sugli stessi pin. La Figura 3.14 illustra un esempio di questo tipo, relativo al collegamento tra due PC. Questa figura mostra le schede NIC all'esterno dei PC e riporta i doppietti senza guaina esterna solo per concentrare l'attenzione sull'utilizzo di ciascun doppietto.

Figura 3.14 Requisiti del cavo crossover.



Le due schede NIC dei PC inviavano entrambi i dati sui pin 1 e 2, ed entrambe si aspettano di ricevere segnali elettrici sui pin 3 e 6. In questo caso, il cavo deve collegare il doppietto dei pin 1 e 2 a un'estremità del cavo e collegare rispettivamente ai pin 3 e 6 l'altra estremità dello stesso cavo. Questo genere di cavo prende il nome di **cavo crossover**.

La Figura 3.15 mostra i pinout di un cavo crossover in base agli standard TIA/EIA-568-B. La Figura 3.15 illustra come vengono utilizzati in genere nelle reti Ethernet i due doppietti da incrociare, uno costituito dalla coppia di pin 1 e 2 e l'altro dalla coppia di pin 3 e 6. Questa figura mostra anche che il doppietto costituito dai pin 4 e 5 viene incrociato all'altra estremità del cavo con il doppietto costituito dai pin 7 e 8.

## Cavi di collegamento di console e rollover

L'ultima variante dei pinout dei cavi UTP riguarda il **cavo rollover**, che collega un filo sul pin 1 di un'estremità con il pin 8 dell'altra estremità. Un altro file collega il pin 2 da una parte con il pin 7 dall'altra parte, un filo collega il pin 3 con il pin 6 e così via.

I cavi rollover non vengono utilizzati per realizzare reti LAN Ethernet, ma sono necessari per collegare una porta seriale di un PC con una porta console su un router o uno switch Cisco. Questo collegamento fisico permette all'utente del PC di effettuare il login sul router o sullo switch e digitare una serie di comandi. La Figura 3.16 mostra il collegamento tra un PC e la porta console di uno switch per mezzo di un cavo rollover.

Figura 3.15 Pinout del cavo crossover TIA/EIA-568-B.

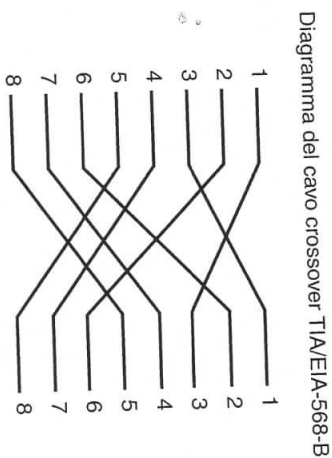
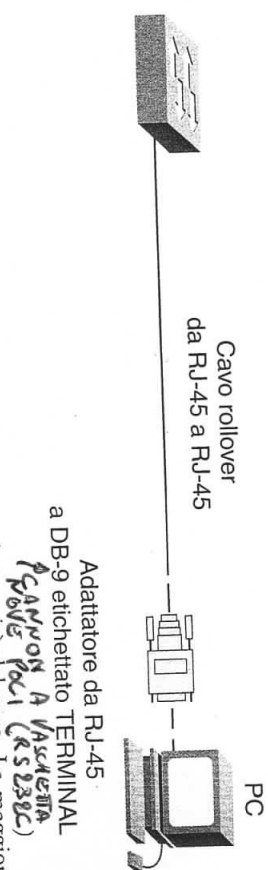


Figura 3.16 Cavo rollover e adattatore per il collegamento alla porta seriale di un PC. Dispositivo con console



La Figura 3.16 mostra un ulteriore connettore a un'estremità del cavo. La maggior parte delle porte seriali di un PC utilizzano un connettore a 9 pin oppure a 25 pin, mentre un cavo rollover presenta in genere un connettore RJ-45 su ciascuna estremità. Di conseguenza diventa necessario utilizzare un adattatore, in modo che il cavo risulti costituito da un connettore RJ-45 da una parte e una spina DB-9 o DB-25 dall'altra.

### Scelta dei pinout corretti di cablaggio

Da un punto di vista pratico, chi progetta le reti deve sapere quando utilizzare un cavo straight-through, un cavo crossover oppure un cavo rollover. È facile sapere quando utilizzare un cavo rollover, in quanto va utilizzato solo quando un PC si collega alla porta console di un dispositivo di rete. Per quanto riguarda i cavi delle reti Ethernet, le due considerazioni che seguono possono aiutare a stabilire se utilizzare un cavo straight-through oppure un cavo crossover.

- Si utilizza un cavo crossover quando si collegano due dispositivi simili per quanto riguarda i pin che utilizzano per trasmettere dati.
- Si utilizza un cavo straight-through quando si collegano due dispositivi che risultano differenti per quanto riguarda i pin che utilizzano per trasmettere dati.

La Figura 3.12 ha mostrato per esempio due dispositivi che utilizzano una coppia di pin differente per trasmettere dati, pertanto è necessario utilizzare un cavo straight-through. La Figura 3.14 ha mostrato invece due dispositivi che utilizzano la stessa coppia di pin per trasmettere dati, pertanto richiede un cavo crossover. Può ovviamente essere utile sapere quali dispositivi trasmettono in genere sui pin 1 e 2 e quali invece trasmettono sui pin 3 e 6. Di seguito è riportato un elenco che indica quali dispositivi utilizzano le due coppie di fili.

- Pin 1 e 2. PC, router, server e porte Ethernet degli access point (AP) wireless.
- Pin 3 e 6. Switch, hub e bridge.

**NOTA** Molti switch Cisco presentano delle etichette su ciascuna porta, per esempio 1x, 2x e così via. La lettera x indica che i pin di trasmissione sono opposti rispetto a quelli di una tipica scheda NIC per PC e ciò significa che lo switch trasmette sui pin 3 e 6. Molti switch recenti sono inoltre in grado di rilevare automaticamente l'utilizzo di un cavo non corretto e rimediano scambiando elettronicamente le coppie di fili all'interno del dispositivo stesso.

Alcuni switch (in genere quelli commercializzati per uso domestico) possono avere una porta che trasmette sui pin 1 e 2. Queste porte vengono aggiunte per le situazioni in cui si debbano collegare due switch: grazie a questa porta particolare, è possibile utilizzare un cavo straight-through per collegare questa porta a una porta normale di uno switch che trasmette sui pin 3 e 6. In questo modo si evita di avere bisogno di un cavo crossover.

#### Laboratorio 3.1.9a Circuiti di comunicazione

Questa attività di laboratorio permette di progettare, realizzare e verificare un semplice sistema di comunicazione.

#### Laboratorio 3.1.9b Verifica di base dei cavi

Questa attività di laboratorio prevede di utilizzare un semplice tester di cavi per verificare il corretto funzionamento di un cavo straight-through oppure di un cavo crossover.

#### Laboratorio 3.1.9c Realizzazione di un cavo straight-through

Questa attività di laboratorio prevede di realizzare una bretella (patch cable) di rete Ethernet UTP Categoria 5 o Categoria 5e e di verificarne il funzionamento.

#### Laboratorio 3.1.9d Realizzazione di un cavo rollover

Questa attività di laboratorio prevede di realizzare un cavo console (rollover) UTP Categoria 5 o Categoria 5e e di verificarne la continuità e la disposizione corretta del pinout, ovvero la corrispondenza del filo di un determinato colore rispetto al pin.

**Laboratorio 3.1.9e** Realizzazione di un cavo crossover

Questa attività di laboratorio prevede di realizzare un cavo crossover Ethernet UTP Categoria 5 o Categoria 5e conforme agli standard TIA/EIA-568-B e TIA/EIA-568-A. Si verificano anche i collegamenti corretti del cavo (continuità) e la disposizione corretta del pinout (filo di un certo colore nel pin corrispondente).

**Laboratorio 3.1.9f** Analisi delle condizioni di acquisto di un cavo UTP

Questa attività di laboratorio presenta assortimento e prezzi dei cavi e dei componenti di rete disponibili sul mercato. Verranno fornite informazioni sui prezzi di cavi patch UTP e di grosse quantità di cavi.

*COCCENTANTE LUMINOSO*

## Supporti di tipo ottico

Le reti utilizzano il cablaggio in rame e l'energia elettrica per trasmettere bit da un dispositivo a un altro per motivi differenti. Da un punto di vista storico, quando le reti iniziarono a diffondersi era ben noto il significato dell'energia elettrica e di come venisse trasmessa lungo un filo, mentre la ricerca nel campo delle trasmissioni di tipo ottico non era ancora stata sviluppata in modo significativo. Solo successivamente vennero introdotte soluzioni che utilizzavano cavi in fibra ottica e luce all'infarosso per trasmettere dati.

Questo paragrafo introduce l'argomento *cablaggio in fibra ottica*, che utilizza fibre di vetro per trasmettere segnali luminosi. Il trasmettitore fa variare il segnale luminoso, mentre il ricevitore interpreta questa variazione come 0 e 1 binari, in modo analogo al trasmettitore elettrico che fa variare il segnale elettrico in un cavo UTP per inviare al ricevitore una sequenza di 0 e di 1. Questo paragrafo rimanda comunque la trattazione dei principi di fisica che riguardano le trasmissioni ottiche e i relativi cablaggi alla documentazione inserita nel CD-ROM allegato al libro.

NOTA Le espressioni cablaggio in fibra ottica, cablaggio in fibra, cablaggio di tipo ottico, fibra ottica o semplicemente fibra sono usate come sinonimi.

## Confronto tra cablaggio in fibra ottica e cablaggio in rame

In molti casi il cablaggio in fibra ottica può essere utilizzato al posto del cablaggio in rame, ma si deve considerare l'aspetto negativo rappresentato senza dubbio dal costo di installazione. Il cavo stesso è in genere più costoso del cavo in rame, mentre i dispositivi di rete che utilizzano la fibra ottica sono molto più costosi delle rispettive soluzioni di tipo elettrico. Si deve infine considerare che un cablaggio in fibra ottica richiede abilità maggiori di installazione e il lavoro da fare tende a essere più complesso. In definitiva, quando è possibile utilizzare entrambe le soluzioni di cablaggio, con cavi UTP e in fibra ottica, in genere la scelta ricade sul cablaggio UTP.

I mezzi fisici usati nelle reti

163

Nonostante la differenza di costo, il cablaggio in fibra ottica rimane comunque una soluzione diffusa per il cablaggio delle reti, in grado per esempio di funzionare in ambienti dove non è possibile utilizzare il cablaggio in rame. Di seguito sono indicate alcune situazioni significative nelle quali è preferibile utilizzare il cablaggio in fibra ottica.

- La fibra ottica non è sensibile ai fulmini, a interferenze elettromagnetiche, a interferenze radio e non genera a sua volta interferenze di questo tipo.
- La fibra ottica offre una larghezza di banda molto superiore a quella di altri mezzi trasmissivi.  $(50 \text{ GB/s})$
- La fibra ottica raggiunge distanze molto grandi con un segnale decisamente pulito, in quanto l'energia della luce che viaggia in un cavo in fibra ottica viene attenuata molto meno rispetto a ciò che succede a un segnale elettrico nei cavi in rame.
- La fibra ottica è molto più sicura di altri mezzi trasmissivi, in quanto è difficile intercettare una trasmissione ottica ed è facile rilevare un tentativo di intercettazione effettuato in una fibra ottica.
- Le tecnologie attuali di trasmissione e di ricezione di segnali ottici possono essere sostituite da dispositivi più recenti e veloci senza intervenire sul cablaggio in fibra ottica.
- Il silicio, materia prima da cui si ricava la fibra ottica, si ricava dalla sabbia, un materiale di cui c'è grande abbondanza.
- Il cablaggio in fibra ottica non richiede il passaggio di segnali elettrici lungo il cavo, pertanto non è necessario effettuare un collegamento a terra.
- Il cavo stesso è di piccolo diametro e occupa poco spazio all'interno di una traccia.
- Il cavo stesso è leggero, il che rende abbastanza facili le operazioni di installazione dei cavi.
- La fibra ottica offre una resistenza migliore nei confronti dei fattori ambientali, per esempio infiltrazioni d'acqua, rispetto al filo in rame.

## Spettro elettromagnetico

La luce è un'onda elettromagnetica che si propaga attraverso diversi mezzi trasmissivi. La luce visibile può per esempio passare attraverso lo spazio vuoto tra Sole e Terra, nell'atmosfera, attraverso i vetri di una finestra e attraverso molti liquidi.

La luce può anche essere assorbita e riflessa; per esempio, le celle solari assorbono la luce e la convertono in energia elettrica, mentre il corpo umano assorbe la luce del sole che procura sensazione di calore e abbronzina la pelle. Altri materiali sono invece in grado di riflettere la luce, per esempio gli specchi. In genere si indossano abiti di colore chiaro in estate perché questi colori riflettono maggiormente la luce rispetto agli abiti di colore scuro, in modo da sentire meno il calore.

La luce viaggia in forma di onda. La Figura 3.17 illustra l'andamento grafico dell'energia della luce rispetto al tempo. L'asse orizzontale (x) riporta un'unità di tempo, mentre l'asse verticale (y) riporta una misura del campo luminoso.



## Cablaggio in fibra ottica

I cavi in fibra ottica consentono ai dispositivi di rete di inviare un segnale luminoso all'infrarosso modulato attraverso una fibra in vetro collocata nella parte centrale di un cavo. In altre parole, un dispositivo emette una luce brillante che corrisponde a un 1 binario e una luce di minore intensità per rappresentare uno 0 binario, mentre il dispositivo ricevente osserva la luce in arrivo per registrare la corrispondente sequenza di 1 e di 0.

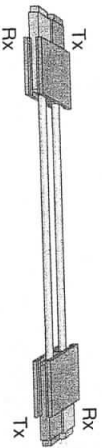
I cavi in fibra ottica non trasmettono energia elettrica. L'energia elettrica e i circuiti presenti nel computer trasmettitore servono a considerare una sequenza di bit e generare la luce all'infrarosso corrispondente, ma l'unico tipo di energia che attraversa il cavo è costituito dalla luce stessa. Dato che il fenomeno fisico della trasmissione di luce è molto diverso da quello relativo all'elettricità, l'utilizzo dei cavi in fibra ottica offre una serie di vantaggi, tra cui una maggiore lunghezza dei cavi e una minore sensibilità alle interferenze.

I prossimi paragrafi spiegano i concetti fondamentali che stanno alla base del cablaggio in fibra ottica. In primo luogo viene illustrato l'utilizzo di più fibre, una per ciascuna direzione della trasmissione. Il paragrafo successivo descrive i componenti fisici dei cavi, seguiranno poi le differenze tra i due tipi principali di cavi in fibra ottica, ovvero i cavi monomodali e multimodali.

### Utilizzo di due fibre, una per ciascuna direzione

Così come le strade prevedono in genere almeno due corsie, una per ciascuna direzione di marcia, i dispositivi di rete utilizzano una coppia di cavi in fibra ottica, uno per ciascuna direzione della trasmissione di dati. Su una singola fibra la luce può viaggiare in una sola direzione, pertanto è necessario utilizzare due cavi separati per realizzare una trasmissione di tipo full-duplex. La Figura 3.19 mostra una coppia tipica di cavi in fibra ottica.

Figura 3.19 Cavi in fibra ottica di tipo duplex.



**NOTA** Il corso CCNA 1 fa riferimento a un tipo particolare di laser utilizzato nelle trasmissioni ottiche VCSEL (*Vertical Cavity Surface Emitting Laser*).

Il cavo contrassegnato a un'estremità con Tx (*Transmit*) si collega all'altra estremità con una parte del connettore contrassegnata con Rx (*Receive*). In sostanza, la luce viene generata da un trasmettitore costituito in genere da un diodo LED (*Light Emitting Diode*) o da un laser; l'altra estremità dello stesso cavo deve essere collegata a un ricevitore, il cui funzionamento si basa sulla presenza di un fotodiodo PIN

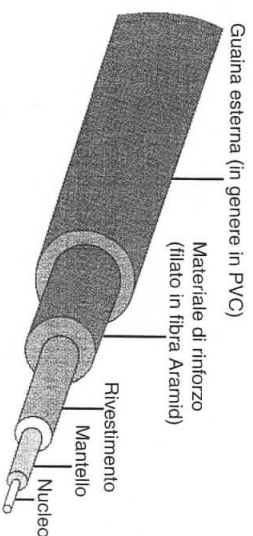
(*P-intrinsic-N diode*) o più semplicemente fotodiodo. Il fotodiodo rileva l'intensità e la lunghezza d'onda della luce e genera le cariche elettriche che corrispondono alla sequenza corretta di 0 e di 1.

Quando vengono stesi i cavi, in genere si includono più fibre ottiche in un cavo di dimensioni maggiori. Un cavo può contenere decine di fibre.

### Componenti del cavo in fibra ottica

Una singola fibra ottica è costituita da cinque componenti fondamentali, come si può vedere nella Figura 3.20.

Figura 3.20 I cinque elementi di un cavo in fibra ottica.



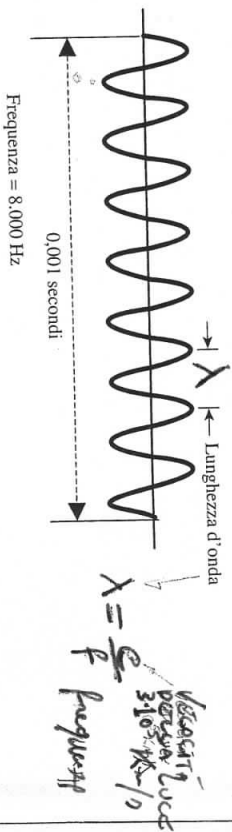
I componenti di un cavo possono essere descritti come segue.

- **Nucleo (core).** Componente realizzato in un materiale che si chiama biossido di silicio; la luce all'infrarosso viaggia attraverso il nucleo.
- **Mantello (cladding).** Circonda il nucleo in modo da riflettere la luce ed evitare che si disperda verso l'esterno.
- **Rivestimento (buffer).** Circonda il mantello in modo da offrire una protezione fisica ai componenti più fragili, ovvero nucleo e mantello.
- **Materiale di rinforzo.** Circonda il rivestimento per evitare che la fibra ottica sia sottoposta a trazione quando viene stesa nelle tracce. In genere il materiale utilizzato è il Kevlar, costituito da un filato in fibra Aramid, ovvero dallo stesso materiale utilizzato per i giubbotti antiproiettile.
- **Guaina esterna (jacket).** Circonda il cavo per evitare alla fibra effetti abrasivi o dovuti all'azione di solventi o di altri agenti chimici. La composizione della guaina esterna dipende dall'utilizzo che si intende fare del cavo. In genere le guaine esterne dei cavi ottici multimodali sono in colore arancione.

### Fibra multimodale e monomodale

Uno dei vantaggi fondamentali del cablaggio in fibra ottica è rappresentato dalla possibilità di coprire distanze molto significative con un solo cavo, mentre l'aspetto negativo riguarda i costi, in particolare quelli relativi agli apparati da collegare alle

Figura 3.17 Energia della luce rispetto al tempo.



La propagazione della luce, analogamente ad altre forme di propagazione ondosa, può essere descritta in funzione delle caratteristiche mostrate nella Figura 3.17. Nel caso della luce, i parametri più significativi sono la **lunghezza d'onda** e la **frequenza**. La frequenza indica il numero di volte al secondo in cui si ripete il segnale luminoso. Nella Figura 3.17 si può per esempio notare che il segnale attraversa l'asse orizzontale, descrive una curva che attraversa di nuovo l'asse orizzontale per descrivere una nuova curva e ritornare al punto di origine dello stesso segnale. Se la variazione completa dell'onda si verifica 8000 volte in 1 secondo, si può affermare che questo segnale luminoso ha una frequenza pari a 8000 Hz.

**NOTA** Le grandezze fisiche lunghezza d'onda e frequenza sono legate tra loro. Nell'ambito delle tecnologie ottiche si usa più spesso la prima mentre nell'ambito delle reti radio wireless, la seconda.

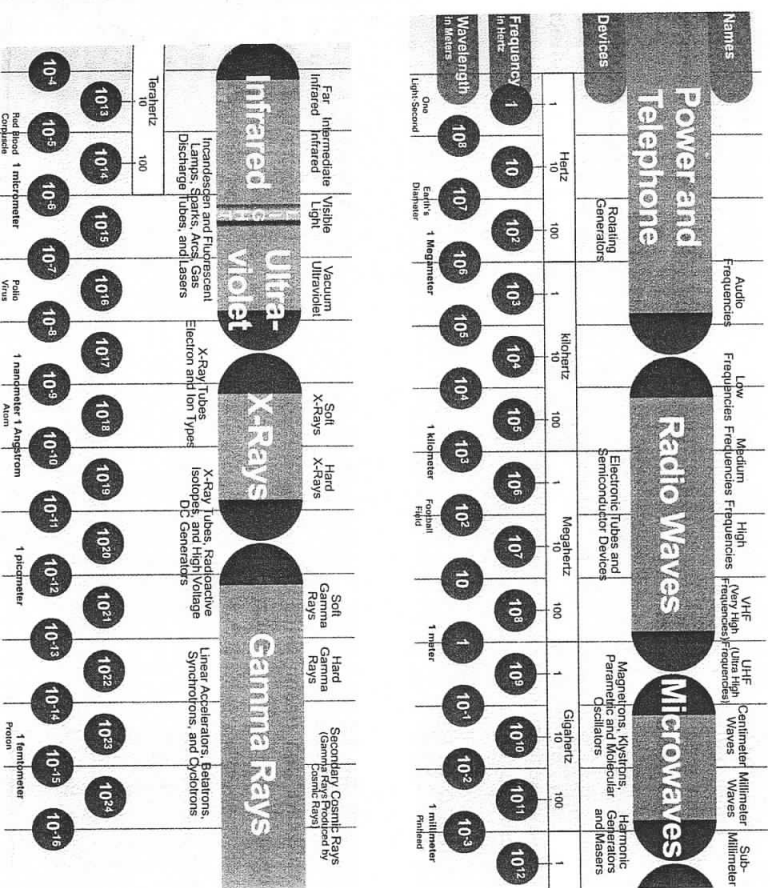
**NOTA** Un nanometro (nm) equivale a una lunghezza pari a un miliaedesimo di metro (0,000000001 m).

La lunghezza d'onda misura la lunghezza di un periodo completo del segnale. Se si potesse bloccare la posizione assunta dalla luce nello spazio e misurare la distanza tra due creste successive, questa misura corrisponderebbe alla lunghezza d'onda. Da un punto di vista pratico, la lunghezza d'onda può essere calcolata utilizzando la formula "lunghezza d'onda = velocità della luce / frequenza".

Nel mondo reale esistono molte forme di energia elettromagnetica, tra cui ciò che viene di solito indicata come luce visibile. L'occhio umano riesce a vedere solo un piccolo intervallo di lunghezze d'onda di energia elettromagnetica, mentre altri tipi di energia elettromagnetica possono servire per scopi differenti. I raggi X costituiscono per esempio una forma di energia elettromagnetica, oppure l'energia all'infrarosso utilizzata da gran parte dei telecomandi degli apparecchi televisivi. È possibile esprimere l'energia elettromagnetica come una forma d'onda caratterizzata da una frequenza e da una lunghezza d'onda simili a quelle indicate nella Figura 3.17. La Figura 3.18 mostra lo spettro elettromagnetico, che include diversi intervalli di frequenza e di lunghezza d'onda cui corrispondono diverse forme di energia elettromagnetica.

Gli spettri della luce visibile e della luce all'infrarosso rappresentano le parti più significative della Figura 3.18, almeno per quanto riguarda gli obiettivi di questo libro. L'occhio umano è sensibile alla luce visibile, definita da un'energia elettromagnetica caratterizzata da lunghezze d'onda che vanno da 700 nanometri (nm) a circa 400 nm. Le diverse lunghezze d'onda all'interno di questo intervallo vengono percepite dall'occhio umano come colori differenti tra loro; per esempio, una lunghezza d'onda di 700 nm corrisponde al colore rosso, mentre 400 nm vengono percepiti come colore viola.

Figura 3.18 Lo spettro elettromagnetico.



Le trasmissioni digitali nei cavi in fibra ottica utilizzano le lunghezze d'onda indicate di seguito, che appartengono all'intervallo della luce all'infrarosso.

- 850 nm
- 1310 nm
- 1550 nm

Vennero selezionate queste lunghezze d'onda in quanto possono viaggiare meglio in un cavo in fibra ottica rispetto ad altre lunghezze d'onda.

estremità del cavo. A causa soprattutto di queste due importanti considerazioni in contraddizione tra loro che riguardano rispettivamente il cablaggio in fibra ottica e i dispositivi per la trasmissione ottica, gli organismi che si occupano di standard hanno definito due categorie fondamentali di specifiche, relative a cablaggio e trasmettitori. Per quanto riguarda i cavi, le due categorie principali sono definite dalle **fibres multimodali** e dalle **fibres monomodali**. Per quanto riguarda invece i trasmettitori, le due categorie principali sono rappresentate da LED e da laser. Anche se non si tratta di affermazioni sempre vere, in generale si può tenere conto delle considerazioni che seguono.

- I trasmettitori più economici a LED vengono utilizzati nei cablaggi multimodali, relativamente meno costosi.
- I trasmettitori più costosi a laser vengono utilizzati nei cablaggi monomodali, più costosi.
- Soluzioni che prevedono cavi monomodali con trasmettitori a laser supportano distanze dei cavi molto maggiori rispetto a quelle supportate da cablaggi multimodali che prevedono l'utilizzo di trasmettitori a LED.

I LED emettono luce in molte direzioni, mentre i laser concentrano la luce emessa in una linea retta. Nel caso in cui i dispositivi di rete utilizzino LED e cavi in fibra ottica, una parte della luce non entra nel cavo mentre diversi raggi luminosi entrano nel cavo con angoli differenti, come si può vedere nella Figura 3.21.

**NOTA** Un'eccezione significativa a queste regole generali è costituita dalle reti Gigabit Ethernet, che non utilizzano LED ma diversi tipi di laser che possono variare nel costo e nella distanza che possono raggiungere. Il Capitolo 7 approfondisce l'argomento in questione.

I raggi luminosi che entrano in una fibra multimodale possono avere diversi angoli di ingresso nel nucleo, come illustrato nella parte superiore della Figura 3.21. I laser sono invece in grado di trasmettere la luce esattamente al centro del nucleo di un cavo monomodale. Di conseguenza, la luce può viaggiare meglio in un cavo monomodale e un singolo cavo di questo tipo consente di inviare il segnale a distanze molto maggiori.

Un'analogia può aiutare a descrivere ciò che succede quando la luce viene immessa in un cavo multimodale. La luce che continua a riflettersi all'interno di una fibra multimodale percorre una strada più lunga, impiega più tempo ed è soggetta a una maggiore attenuazione rispetto alla luce che si sposta direttamente al centro del nucleo.

Dato che la fibra multimodale consente alla luce di entrare nel nucleo con angoli differenti, il nucleo di una fibra multimodale deve avere un diametro superiore rispetto a quello di una fibra monomodale. La Figura 3.22 mostra una sezione trasversale dei quattro tipi di cavi in fibra ottica più comuni utilizzati nelle reti. I nuclei dei diversi cavi sono designati in scala.

$n_1 = \text{indice di rifrazione}$   
 $n_2 = \text{indice di rifrazione}$   
 $n_1 > n_2$   
 $\theta_c = \text{angolo critico}$   
 $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$   
 $\theta_c = \arcsin \left( \frac{n_2}{n_1} \right)$   
 I mezzi fisici usati alle reti

Figura 3.21 Fibra monomodale e multimodale.

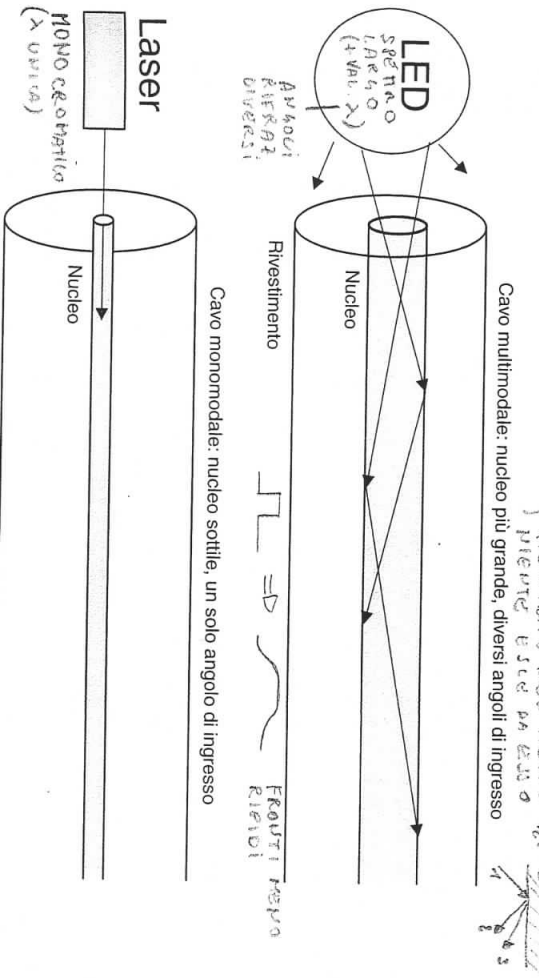
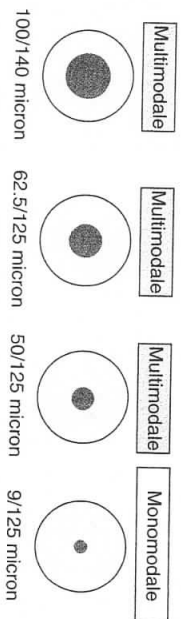


Figura 3.22 Confronto fra i diametri dei cavi in fibra ottica.



**NOTA** Il termine modo (singolo o multiplo) che distingue questi tipi di cavi fa riferimento al fatto che i raggi di luce possono o meno entrare nel nucleo con un certo angolo (monomodale) oppure con più angoli possibili (multimodale).

**SUGGERIMENTO** Il corso online include un'interessante animazione che mette a confronto la luce che passa nel nucleo di un cavo multimodale e monomodale.

**NOTA** La Figura 3.22 riporta valori espressi come "x/y micron", dove "x micron" riguarda la dimensione del nucleo e "y micron" la dimensione del rivestimento. Un capello umano ha un diametro approssimativo di 125 micron.

## Mezzi trasmissivi wireless

(SISTEMI A MICROONDE)  
(ONDE RADIO)

Le trasmissioni elettriche e quelle a fibra ottica richiedono entrambe la presenza di un cavo. L'elettricità non può viaggiare nell'aria, pertanto è necessaria la presenza di un conduttore, per esempio di un filo in rame. I raggi infrarossi potrebbero viaggiare nell'aria, ma non sono in grado di attraversare i materiali solidi, per esempio i muri, i soffitti e così via. Di conseguenza, i cavi in fibra ottica costituiscono una guida d'onda che definisce il percorso che deve seguire la luce all'infrarosso per raggiungere l'altra estremità del cavo e consentire in questo modo la trasmissione di segnali luminosi nella fibra ottica.

La terza soluzione fondamentale relativa ai mezzi di trasmissione illustrati in questo capitolo riguarda le trasmissioni wireless, o senza fili. Una trasmissione wireless non utilizza un filo oppure un cavo di alcun tipo, al contrario invia i segnali nell'aria attraverso un filo oppure un cavo che circonda i computer e i dispositivi di rete. Le comunicazioni wireless utilizzano onde radio. Le onde all'infrarosso o di luce visibile non possono attraversare i materiali solidi, mentre le onde radio possono attraversare alcuni di questi materiali. Di conseguenza, i dispositivi di rete sono in grado di inviare onde radio nello spazio. La comunicazione tra due dispositivi può aver luogo in funzione delle distanze in gioco, della quantità di materia presente tra i due dispositivi e dal tipo di materia da considerare.

Questo paragrafo si occupa dei principi di funzionamento delle comunicazioni WLAN (Wireless LAN). Nel CD-ROM allegato al libro è possibile trovare una sezione che approfondisce la conoscenza di questa tecnologia.

## Componenti e progettazione di reti aziendali WLAN

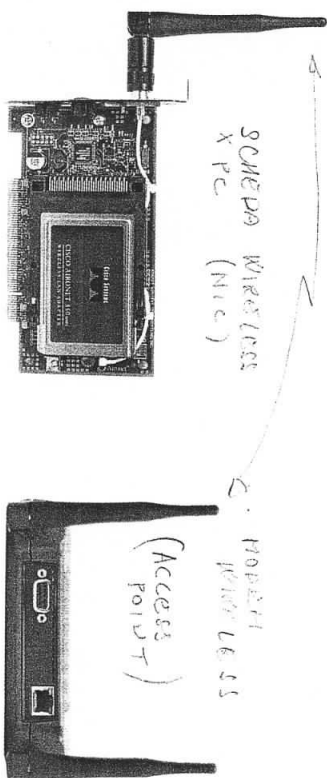
Per creare una piccola rete LAN Ethernet cablata, si possono utilizzare schede NIC Ethernet in combinazione con un hub oppure uno switch LAN. Le reti aziendali WLAN odierne richiedono analoghi componenti indicati di seguito.

- PC con schede NIC WLAN.
- Access point (AP), dispositivi in grado di funzionare come hub LAN per i dispositivi wireless.

I PC utilizzano le proprie schede NIC WLAN per inviare e ricevere dati con l'access point, che a sua volta consente di comunicare con altri dispositivi. La Figura 3.23 mostra a sinistra una scheda NIC WLAN di Cisco Systems, mentre a destra è visibile un access point.

Nella Figura 3.23 è interessante notare le antenne che sporgono dalla scheda NIC e dall'access point. Analogamente alle stazioni radio che utilizzano una grande antenna per trasmettere musica per mezzo di onde radio, le schede NIC e gli access point hanno bisogno di antenne per trasmettere i dati utilizzando onde radio. Quando per esempio una scheda NIC deve inviare i dati, genera delle onde radio modulando la forma d'onda in modo da rappresentare gli 1 e gli 0 in base a un determinato schema di codifica dei dati; l'access point riceve le onde radio e interpreta il segnale radio ricevuto come una sequenza di 1 e di 0.

Figura 3.23 Schede NIC e access point.



**NOTA** L'espressione rete cablata o rete wired fa riferimento a una parte qualsiasi di una rete che utilizza cavi, a prescindere dal fatto che i cavi siano in rame oppure in fibra ottica.

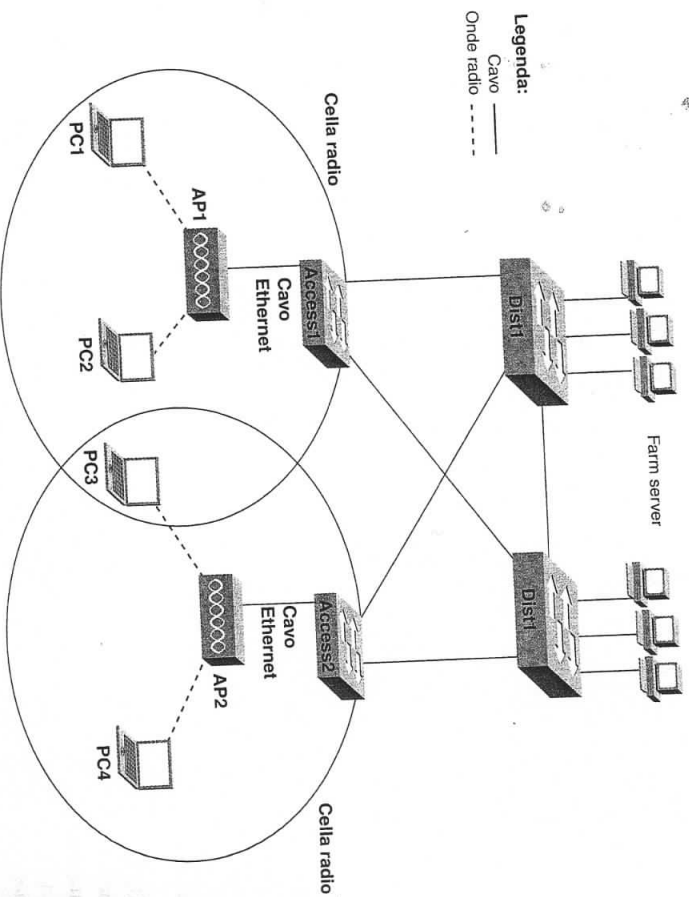
Da un punto di vista progettuale, anche se le reti WLAN offrono gli strumenti che permettono a un dispositivo di inviare e di ricevere dati senza utilizzare un cavo, la maggior parte dei server con i quali si deve comunicare fa parte di una rete cablata. La Figura 3.24 mostra lo schema tipico di una rete aziendale in *modalità infrastrutturata*. In questa modalità la rete LAN utilizza access point, mentre i PC inviano e ricevono dati in rete collegandosi all'access point. La Figura 3.24 mostra due access point che instradano il traffico da e verso una server farm definita nella parte cablata della rete.

I cerchi tracciati nello schema rappresentano la *cella* radio di ciascun access point, che corrisponde alla zona nella quale l'access point è in grado di comunicare con le schede NIC wireless. La dimensione della cella può variare da alcune decine di metri a circa 40 chilometri, in funzione della tecnologia e della postazione in cui viene installato l'access point. In generale si può ritenere che una cella può coprire un'area che va dai 90 ai 150 metri.

Per installare una rete WLAN in grado di funzionare con l'infrastruttura LAN esistente è necessario considerare i componenti indicati di seguito:

- almeno un access point
- un cavo straight-through per collegare l'access point a uno switch LAN esistente
- schede NIC wireless per i dispositivi utente, in modo che possano comunicare con gli access point.

Figura 3.24 Un tipico progetto di rete aziendale WLAN.



**NOTA** Le celle radio della Figura 3.24 sembrano coprire anche gli switch, ma questa indicazione è del tutto casuale. Gli switch delle reti LAN non hanno bisogno di utilizzare un sistema wireless per inviare e ricevere dati con un access point.

La maggior parte degli schemi di infrastruttura di una rete WLAN prevede l'impostazione di celle che si sovrappongono tra loro; il corso online suggerisce di definire una sovrapposizione pari almeno al 20-30% della copertura. Le celle che si sovrappongono utilizzano frequenze leggermente diverse tra loro, analogamente alle stazioni radiofoniche che trasmettono a frequenze differenti l'una dall'altra. La sovrapposizione delle celle offre una serie di vantaggi. In primo luogo, un utente che si sposta può passare da una cella all'altra con un'interruzione minima della connettività WLAN, in genere inferiore a un secondo. I dispositivi che rilevano la presenza di più access point e stabilire quale utilizzare in funzione dell'intensità del segnale radio e della quantità di rumore.

Per scegliere l'access point da utilizzare, un client deve stabilire quale access point risulta essere migliore e definire poi un'associazione con quell'access point. In genere

una scheda NIC WLAN decide che l'access point migliore è quello da cui riceve il segnale radio più forte. La procedura di scansione che permette di rilevare gli access point disponibili può essere attiva oppure passiva. La scansione attiva fa in modo che la scheda NIC wireless invii una richiesta di probe; questa richiesta include il parametro SSID (Service Set Identifier) della rete cui si vuole associare la scheda NIC. Quando un access point che ha lo stesso SSID intercetta il segnale di probe, risponde a questo segnale e completa la procedura di associazione.

Le schede NIC che utilizzano la scansione passiva non avviano la procedura di scansione utilizzando un segnale di probe; al contrario, rilevano passivamente i frame trasmessi dagli access point, che prendono il nome di frame di beacon. Quando una scheda NIC riceve un beacon che contiene il parametro SSID della rete cui si vuole associare, tenta di portare a termine questa operazione con l'access point.

Le scansioni attive e passive sono entrambe operazioni di tipo continuo, il che facilita il passaggio da una cella a un'altra (operazione di roaming). La scansione continua permette a una scheda NIC di spostarsi, di rilevare automaticamente che si trova a portata di un altro access point che offre un segnale di intensità maggiore e di associarsi con il nuovo access point, il tutto prima di uscire dall'area coperta dal primo access point. È possibile associare o meno i nodi di collegamento con gli access point quando si modifica l'intensità del segnale trasmesso.

Oltre allo schema delle infrastrutture WLAN illustrate finora, due dispositivi wireless possono formare una rete WLAN in modalità così detta "ad hoc". Per effettuare questa operazione, i dispositivi devono semplicemente eseguire una scansione, trovarsi e stabilire un'associazione reciproca. Ciò permette di impostare un collegamento semplice e rapido che consenta ai due dispositivi di condividere i dati, anche se non rappresenta una soluzione sicura.

## Organismi e standard WLAN

Analogamente alle reti LAN Ethernet cablate, gli standard IEEE definiscono le specifiche che riguardano le reti WLAN, riunite nella famiglia di protocolli 802.11. Di nuovo analogamente alle reti LAN Ethernet, esistono diverse opzioni delle reti WLAN a livello fisico e i nomi dei protocolli IEEE fanno riferimento a standard differenti indicando una determinata lettera alla fine della sigla 802.11. Al momento gli standard più comuni sono indicati come 802.11a, 802.11b e 802.11g.

Le onde radio possono interferire con altre trasmissioni radio. A causa di queste possibili interferenze, i prodotti WLAN devono soddisfare una serie di requisiti che dipendono dalla zona geografica del mondo in cui vengono installati i dispositivi wireless. Negli Stati Uniti per esempio la commissione FCC (Federal Communications Commission) definisce gli standard relativi alle frequenze radio da utilizzare nelle reti WLAN, insieme a limitazioni che riguardano la potenza del segnale. È facile immaginare che non tutti i paesi hanno trovato un accordo sulle lunghezze d'onda da utilizzare per determinati scopi, il che rende abbastanza difficile mettere in commercio prodotti che possano essere utilizzati in diverse parti del mondo.

**NOTA** Lo standard 802.11g è compatibile con la versione precedente 802.11b e utilizza lo stesso intervallo di frequenze.

**SUGGERIMENTO** I dispositivi WLAN possono regolarsi in modo dinamico per utilizzare velocità di trasmissione dei dati più lente e garantire così la trasmissione stessa. In genere, più è lenta la velocità di trasmissione e più è grande la cella. Per coprire un'area maggiore con una sola cella, si può pertanto abbassare la velocità di trasmissione.

**NOTA** I dettagli del funzionamento degli standard FHSS, DSSS e OFDM vanno oltre gli obiettivi di questo corso.

Al momento gli standard delle reti WLAN utilizzano due bande di frequenza: la banda 2,4-GHz (802.11b e 802.11g) e la banda 5-GHz (802.11a). La banda 2,4-GHz è accettata da quasi tutti i paesi per quanto riguarda l'utilizzo di dispositivi elettronici di tipo consumer, tra cui le reti WLAN e molti telefoni cordless. Lo standard 802.11a utilizza un intervallo di frequenze intorno ai 5 GHz, ma questa banda di frequenza non è accettata da tutti i paesi per quanto riguarda le reti WLAN, il che rende più difficile la diffusione a livello mondiale dei protocolli 802.11a.

Un'altra differenza importante tra gli standard 802.11 riguarda le velocità di trasmissione dei dati. In merito alle celle WLAN, i dispositivi condividono una stessa larghezza di banda. Nella Figura 3.24 PC1, PC2 e AP1 condividono per esempio una cella, mentre PC3, PC4 e AP2 ne condividono un'altra. Sebbene la trasmissione dei dati possa avere una determinata velocità, il valore di throughput, ovvero la quantità di dati che viene effettivamente trasmessa su una cella, è in genere molto più piccola. Si consideri per esempio che le specifiche 802.11b definiscono una velocità di trasferimento dei dati di 11 Mbps ma un valore di throughput che si aggira intorno a 2-4 Mbps.



La configurazione NA01-0324 di Packet Tracer riguarda una simulazione che prevede conflitti nella rete wireless. La configurazione è simile a quella illustrata nella Figura 3.24.

A causa della condivisione di ciascuna cella, i dispositivi devono consentire a ciascun dispositivo di inviare i dati. Le specifiche WLAN 802.11 definiscono uno standard che prende il nome di *CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)*. Il principio di funzionamento è simile a quello del protocollo Ethernet CSMA/CD, ma i dispositivi WLAN tentano di evitare le collisioni invece di rilevarle. Un'altra differenza fondamentale tra gli standard WLAN riguarda le specifiche di trasmissione a livello fisico. Le specifiche originali indicavano le due opzioni che seguono.

- FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*)
- DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*)

Gli standard successivi hanno introdotto un nuovo metodo che si chiama *OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)*.

La Tabella 3.5 riporta le tre opzioni più comuni tra quelle disponibili per le reti WLAN 802.11 odierne.

**Tabella 3.5** Standard WLAN.

Standard	Spettro utilizzato	Velocità massima di trasmissione	Livello fisico
802.11a	5 GHz	54 Mbps	OFDM
802.11b	2,4 GHz	11 Mbps	DSSS
802.11g	2,4 GHz	54 Mbps	OFDM

Il comitato Wi-Fi alliance (<http://www.wi-fi.org>) promuove una serie di standard relativi al settore delle reti wireless, oltre a promuovere il termine *Wi-Fi* per fare riferimento a dispositivi capaci di interoperare correttamente nell'ambito di uno qualsiasi degli standard WLAN IEEE 802.11. Si può notare che il corso online definisce questo termine per indicare "sistemi DSSS che funzionano a velocità di 1, 2, 5, 5 e 11 Mbps". Al momento, il termine *Wi-Fi* fa riferimento più in generale agli standard IEEE 802.11.