

Capitolo 7: Codifica e Trasmissione dell'Informazione

Dispense del corso di Tecnologia dei Sistemi Informatici: Basi di Dati e Reti

Queste brevi note non hanno la pretesa di essere un nuovo libro di testo sulle tecnologie informatiche. Vogliono invece costituire *un quaderno di appunti* agile del corso di TSI per gli allievi Ingegneri Gestionali dell'Università di Napoli "Federico II". Per questa sua natura e specificità, questa dispensa non è definitiva ed è soggetta a ulteriori revisioni individuate dalla data di compilazione del documento.

Draft del: 6 dicembre 2005

Contents

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | I sistemi di Comunicazione | 2 |
| 1.1 | Codici e codifica | 3 |
| 2 | Rilevazione e Correzione di Errori | 5 |
| 2.1 | Codici per la rilevazione del singolo errore | 6 |
| 2.2 | Codici per la correzione del singolo errore | 6 |
| 3 | La trasmissione dell'informazione | 8 |
| 3.1 | Segnali Analogici e Digitali | 9 |
| 4 | I mezzi trasmissivi | 10 |
| 4.1 | Linea Bifilare e Doppino | 10 |
| 4.2 | Cavo coassiale | 11 |
| 4.3 | Fibra ottica | 12 |
| 4.4 | Tramissioni wireless | 12 |
| 5 | La trasmissione dei dati | 13 |

1 I sistemi di Comunicazione

Alla base della trasmissione dell'informazione è il concetto di *messaggio* inteso, informalmente, come *una informazione* che viene trasferita da un'entità detta *sorgente* ad una o più entità dette *destinatario*.

Un sistema di comunicazione, come mostrato in figura 1, è in generale formato da cinque elementi fondamentali:

- Una **sorgente** che genera messaggi.
- Un sistema di **codifica** che trasforma un messaggio della sorgente in una sequenza segnali.
- Un **canale** trasmissivo (ad esempio un doppino telefonico, fibre ottiche, l'etere) usato per trasferire segnali dalla sorgente alla destinazione.
- un **decodificatore** che esegue di solito le operazioni inverse di un codificatore, ossia trasforma i segnali in messaggi.
- un **destinatario** che riceve i messaggi.

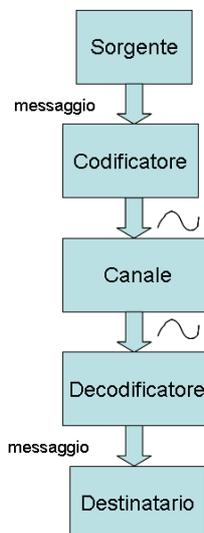


Fig. 1. Sistema di Comunicazione

Si noti che l'insieme costituito da codificatore, canale e decodificatore è anche detto

sistema di trasmissione dell'informazione. Inoltre Codificatore e decodificatore sono a volte chiamati *trasmettitore* e *ricevitore* rispettivamente.

ESEMPIO 1.1 ESEMPIO DI SISTEMA DI COMUNICAZIONE. *Presentiamo un esempio che ci consentirà di capire meglio il ruolo svolto dai diversi elementi in un generico sistema di comunicazione. Si consideri una tipica comunicazione telefonica su telefono fisso: un essere umano parla emettendo un sequenza di suoni (i simboli in formato acustico che costituiscono il messaggio da trasmettere), quindi un opportuno codificatore trasforma il segnale acustico in un segnale elettrico; tale segnale viene trasmesso su un canale, costituito da cavi telefonici e da un insieme di interruttori che trasportano il segnale al decodificatore del destinatario; a questo punto il segnale elettrico viene trasformato nuovamente in segnale acustico consegnando in questo modo il messaggio al destinatario.*

Si noti che i canali di comunicazione hanno una capacità limitata, misurata in *bit al secondo*. Tale misura rappresenta il numero di bit che il canale di comunicazione è in grado di trasmettere nell'unità di tempo.

Lo studio sistematico dei sistemi di comunicazione è una attività vasta e complessa che esula dagli scopi di questi appunti. Nel seguito mostreremo i concetti più importanti della tematica, rimandando a testi specializzati di networking, di telecomunicazioni e telematica per eventuali approfondimenti.

1.1 Codici e codifica

Un messaggio prodotto da una sorgente può essere modellato come una sequenza di lunghezza finita ℓ di simboli appartenenti ad un insieme \mathcal{A} prefissato, detto "alfabeto" della sorgente. In altre parole, stiamo pensando ad una applicazione (matematica) detta "codifica" che, data una informazione \mathcal{I} , la associa ad una opportuna parola codice, w_c composta da simboli di \mathcal{A} , ovvero *codifica* : $\mathcal{I} \rightarrow w_c \in \mathcal{C}$, con \mathcal{I} e \mathcal{C} insiemi di cardinalità finita.

Si noti che le caratteristiche principali di un messaggio sono il formalismo scelto per rappresentarlo ed il significato del messaggio, caratteristiche indipendenti l'una dall'altra (il formalismo di rappresentazione non dipende dal significato del messaggio). Diamo le seguenti definizioni notevoli.

DEFINIZIONE 1.1 CODIFICA NON AMBIGUA. *Una codifica si dice non ambigua se l'applicazione*

$$\mathcal{I} \rightarrow w_c \in \mathcal{C} \quad (1)$$

è iniettiva, ovvero ogni coppia di informazioni distinte di I sono trasformate in coppie di parole distinte w_c .

DEFINIZIONE 1.2 RIDONDANZA DELLA CODIFICA. *Detto $\text{card}(\mathcal{I})$ il numero di elementi dell'insieme \mathcal{I} , e $\text{card}(\mathcal{C})$ la cardinalità di \mathcal{C} , una codifica si dice*

—*non ridondante se $\text{card}(\mathcal{I}) = \text{card}(\mathcal{C})$;*

—*ridondante se $\text{card}(\mathcal{C}) > \text{card}(\mathcal{I})$*

Si noti che se $\text{card}(\mathcal{C}) < \text{card}(\mathcal{I})$, allora si ha una *codifica ambigua*.

Nel nostro caso, distinguiamo tra

—**codice sorgente:** ovvero il codice con il quale sono rappresentati i messaggi emessi dalla sorgente;

—**codice canale:** ovvero il codice col quale sono rappresentati i messaggi trasmessi lungo il canale;

—**codice destinatario:** ovvero il codice del destinatario, che a volte può essere diverso da quello della sorgente.

ESEMPIO 1.2 CODICE MORSE. *Si tratta del primo esempio di codice esplicitamente pensato per trasmissioni su canali di comunicazione. Il codice fu ideato nel 1844 da Samuel F.B. Morse per l'uso del telegrafo elettrico, anch'esso frutto della sua inventiva.*

La prima linea telegrafica sperimentale fu la tratta Washington - Baltimora, inaugurata con l'invio in tempo reale degli impulsi elettrici che corrispondevano alla frase biblica "Così ha permesso Dio", passata alla storia come il primo messaggio telegrafico in alfabeto Morse.

L'alfabeto Morse è una combinazione di punti e linee che rappresentano numeri e lettere dell'alfabeto, dove la durata di una linea equivale a quella di tre punti: per trasmettere i messaggi codificati ci si può servire di segnalazioni luminose, acustiche o elettriche, che permettono di codificare le due "durate" (lunga e breve) dei segnali. Tuttora rappresenta un codice internazionale di segnali usato nei sistemi di radiotelegrafia di tutti i paesi, eccetto Stati Uniti e Canada, e ovunque nel mondo per le comunicazioni in navigazione marittima. Il codice base è formato da 36 simboli (26 caratteri e 10 cifre), come in figura 2, essenzialmente codificati in binario (punto, linea). Si noti che la codifica è ambigua, in quanto non consente sempre al decodificatore di associare ad un messaggio un unico significato se non si dispone di una sincronizzazione tra un carattere ed il successivo (ad esempio una pausa).

| | | | |
|-------------|-----------|-----------|-------------|
| A · - | J · - - - | S · · · | 1 · - - - - |
| B - · · · | K - · - | T - | 2 · · - - - |
| C - · - · · | L · · · · | U · · - | 3 · · · - - |
| D - · · | M - - | V · · · - | 4 · · · · - |
| E · | N - · | W · - - | 5 · · · · · |
| F · · - · | O - - - | X - · · - | 6 - · · · · |
| G - - · | P · - - · | Y - · - - | 7 - - - · · |
| H · · · · | Q - - - - | Z - - · · | 8 - - - · · |
| I · · | R · - · | | 9 - - - - · |
| | | | 0 - - - - - |

Fig. 2. Esempio di Codifica: il codice Morse

2 Rilevazione e Correzione di Errori

I canali di trasmissione sono di solito costituiti da circuiti elettronici che possono, durante la trasmissione, dare luogo ad una serie di disturbi, cui viene dato il nome di "rumore". Di solito si distinguono due tipi fondamentali di rumore:

- rumore bianco*: si tratta di un disturbo sempre presente nei dispositivi elettronici (è in gran parte generato dal moto degli elettroni) e può essere facilmente mitigato attraverso opportuni dispositivi elettronici detti *filtri*;
- rumore impulsivo*: si tratta di un disturbo dovuto a cause *imprevedibili* che possono verificarsi durante la trasmissione (caduta di tensione, effetti parassiti delle linee elettriche e così via). Genera errori casuali e altera in modo imprevedibile i bit trasmessi.

Solitamente, per ridurre gli effetti dei disturbi (soprattutto quelli imprevedibili), sono state definite tecniche di trasmissione dei messaggi che permettano nel contempo di rilevare la presenza di errori e, sotto opportune ipotesi, di correggerli.

La considerazione intuitiva alla base delle tecniche di correzione di errore è la seguente: se il dato ricevuto dal destinatario attraverso il canale è diverso da quello che vi era stato immesso, allora si è verificato un errore di trasmissione. In particolare, un errore è singolo se è stato alterato un solo bit; è doppio se sono stati alterati due bit, etc.

Come si fa a riconoscere che un bit ricevuto è differente da quello inviato, e quindi ad individuare la presenza di un errore? A tal fine si utilizzano tecniche di codifica dell'informazione basate sull'uso di codici ridondanti. In linea di principio, ad una

”parola dati” di m bit si aggiungono r bit di controllo e si ottiene una ”parola codice” di $n = m + r$ bit: quando si legge una parola, vengono controllati gli r bit in eccesso al fine di rilevare l’errore (cioè invalidare il dato) o correggerlo (cioè sostituire il dato errato con quello esatto).

2.1 Codici per la rilevazione del singolo errore

Un semplice esempio di codice ridondante, poco costoso dal punto di vista realizzativo e molto usato nel mondo dei calcolatori, è il codice a *controllo di parità*. Il controllo di parità associa, ad ogni gruppo di bit, un ulteriore bit ridondante il cui valore è calcolato in funzione dei bit del gruppo: in particolare, il bit di parità vale ”1” se il numero di bit alti del gruppo è dispari, vale ”0” altrimenti: in altre parole, ogni parola codice valida ha un numero pari di bit ”1”. A questo punto, il ricevitore avrà un dispositivo che a sua volta calcola la disparità e si rende conto dell’errore, nell’ipotesi che un solo bit possa essere stato alterato. Tale ipotesi è peraltro ragionevole, in quanto si dimostra che la probabilità di un errore doppio è minore della probabilità di un errore singolo.

Consideriamo ad esempio un gruppo di otto bit e supponiamo di aggiungervi un nono bit di parità. Se il gruppo ha un numero dispari di bit alti, l’aggiunta del nono bit alto rende i nove bit ”pari” (ad esempio, se ho 011001101, aggiungendo il bit di parità ottengo 0110011011, per un totale di bit alti pari); se invece gli otto bit hanno un numero pari di 1, allora il bit di parità viene posto a 0 ed il numero complessivo di bit alti rimane pari: in ogni caso, il messaggio trasmesso ha sempre un numero di bit alti pari. Come ci si rende conto che c’è un errore in trasmissione? Se il messaggio contiene un numero di bit alti dispari; ad esempio, trasmetto 011001101 (n. bit alti pari) e ricevo 010001101 (n. bit alti dispari).

Nel caso del bit di parità dunque, agli m bit del messaggio si aggiunge 1 bit di controllo e si ottiene una ”parola codice” di $n = m + 1$ bit, in grado di far individuare un errore su un singolo bit.

2.2 Codici per la correzione del singolo errore

Una famiglia di codici ridondanti molto utilizzata è quella che va sotto il nome di ”codici di Hamming”.

L’idea di base è di sfruttare la ridondanza facendo uso di un codice in cui due qualsiasi parole codice differiscono per ” h ” bit. Il valore di h è detto *distanza di Hamming*. È facile verificare che nei codici non ridondanti $h = 1$, mentre nel codice a parità $h = 2$.

In particolare, detto m il numero di bit del messaggio, r il numero di bit di controllo, ed $m + r$ il numero di bit trasmessi, l’errore si può verificare su uno qualsiasi degli

$m + r$ bit: si dimostra che se viene soddisfatta la condizione

$$2^r \geq m + r + 1 \quad (2)$$

è possibile non solo rilevare ma anche correggere l'errore.

Facciamo un esempio. Supponiamo di avere otto bit dati da trasmettere, che indichiamo con la sequenza $a_0, a_1 \dots a_7$. In questo caso, il minimo r che soddisfa la condizione 2, $2^r \geq 8 + r + 1$ è 4. Per questo motivo, indichiamo con r_0, r_1, r_2, r_3 i quattro bit di controllo della sequenza. Utilizzando il metodo di Hamming, i bit della sequenza vengono numerati da 1 a $m + r = 12$ ed i bit di controllo vengono posti nelle posizioni che siano potenze di due ($2^0, 2^1, 2^2, 2^3$), ovvero in posizione 1, 2, 4, 8, mentre le rimanenti posizioni sono occupate dai bit di informazione:

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| r_0 | r_1 | a_0 | r_2 | a_1 | a_2 | a_3 | r_3 | a_4 | a_5 | a_6 | a_7 |

Si può pensare che ogni bit r_i controlli la parità di un gruppo di bit, incluso se stesso, come ad esempio in tabella¹:

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | r_0 | r_1 | r_2 | r_3 | a_0 | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 | a_6 | a_7 |
| r_0 | × | | | | × | × | | × | × | | × | |
| r_1 | | × | | | × | | × | × | | × | × | |
| r_2 | | | × | | | × | × | × | | | | × |
| r_3 | | | | × | | | | | × | × | × | × |

Supponiamo di voler trasmettere la sequenza 00011111. In questo caso: $r_0 = 1$, $r_1 = 1$, $r_2 = 0$ ed $r_3 = 0$, onde il messaggio trasmesso sarà 110000101111. Ammettiamo che in trasmissione si abbia un errore ed il ricevitore riceva la sequenza 110000100111. Il ricevitore ricalcola i bit di parità ed ottiene come controllo la sequenza: 0101 che non coincide con quanto ricevuto 1100, differendo in particolare i bit r_0 ed r_3 . Se si vede la tabella, il bit che va allora modificato è quello controllato da r_0 e r_3 , ovvero a_4 , che può essere corretto di nuovo in 1, ricostruendo la sequenza corretta.

¹La tabella è stata costruita usando il metodo di Hamming che prevede che ogni bit in posizione k sia controllato dai bit r corrispondenti alle potenze di 2 in cui è possibile scomporre k (es. a_0 in posizione $k = 3 = 2^0 + 2^1$ è controllato da r_0 ed r_1). Un errore singolo altera dunque tutti i bit r che lo controllano e poiché per costruzione ogni bit del messaggio è controllato da una combinazione differente di bit r , è possibile risalire al bit alterato.

3 La trasmissione dell'informazione

Per trasferire un messaggio binario lungo una linea di trasmissione, i bit che costituiscono gli elementi da trasmettere devono essere convertiti in segnali elettrici: una soluzione può essere quella di associare al valore logico 1 un dato valore di tensione, ad esempio $+V$, e al valore logico 0 un valore di tensione ben distinto, ad esempio $-V$. Il ricevitore sarà in grado di interpretare i valori di tensione ricevuti, secondo la convenzione assunta.

Rappresentando il valore nel tempo del fenomeno fisico utilizzato come una funzione $s(t)$, si può studiare matematicamente il segnale risultante.

Il segnale fondamentale che prendiamo in considerazione è una funzione sinusoidale del tipo $s(t) = A \sin(2\pi ft)$, che, come è noto, è caratterizzata dai seguenti parametri: ampiezza A (il massimo valore in modulo del segnale); periodo T (il tempo entro cui la funzione si ripete); frequenza: l'inverso del periodo $f = 1/T$, misurata in cicli al secondo (Hz).

In realtà, una qualsiasi funzione $s(t)$, definita in un intervallo T , può essere espressa come una somma di un numero infinito di funzioni sinusoidali (**analisi di Fourier**):

$$s(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n2\pi f_0 t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n2\pi f_0 t \quad (3)$$

dove $f_0 = 1/T$ è la frequenza fondamentale ed a_n e b_n sono le ampiezze dell' n -esima armonica (o termine), che ha una frequenza n volte più grande della frequenza fondamentale e tutti sono calcolabili come opportuni integrali di $s(t)$ in t .

Un segnale variabile nel tempo è di fatto equivalente ad una somma di funzioni sinusoidali aventi ciascuna una propria ampiezza e frequenza. Si può quindi rappresentare un segnale $s(t)$ di durata T in un modo diverso, e cioè attraverso il suo spettro di frequenze, ossia attraverso la sua scomposizione in sinusoidi.

Qualunque segnale è dunque caratterizzato da un intervallo di frequenze nel quale sono comprese le frequenze delle sinusoidi che lo descrivono. Tale intervallo va sotto il nome di **banda di frequenza** del segnale.

Anche i mezzi fisici sono caratterizzati da una banda di frequenze, detta **banda passante del mezzo fisico**. Essa rappresenta l'intervallo di frequenze che il mezzo fisico è in grado di trasmettere (senza alterarle oltre certi limiti). Le alterazioni principali sono la *attenuazione* e l'introduzione di *ritardo*, che di solito variano al variare delle frequenze trasmesse. A volte la dimensione della banda passante dipende solo dalle caratteristiche fisiche del mezzo trasmissivo, a volte deriva anche dalla presenza di opportuni filtri che tagliano le frequenze oltre una certa soglia (detta frequenza di taglio, f_c). Ad esempio, nelle linee telefoniche la banda passante è 3 kHz.

È opportuno notare che i mezzi trasmissivi *attenuano i segnali* in proporzione alla

distanza percorsa e alla frequenza del segnale e che propagano i segnali a velocità proporzionali alle loro frequenze. Da queste considerazioni discende che la banda passante *si riduce* all'aumentare della lunghezza del mezzo stesso. Perché un segnale sia ricevuto come è stato trasmesso, è necessario che la banda passante sia almeno uguale o più ampia della banda di frequenza del segnale stesso, altrimenti, il segnale viene privato di alcune delle sue armoniche (quelle di frequenza più elevata) e viene quindi distorto. Se un numero sufficiente di armoniche arriva a destinazione, il segnale è comunque utilizzabile. Nyquist (1924) ha dimostrato (teorema del campionamento o teorema di Nyquist) che un segnale analogico di banda \mathcal{B} può essere completamente ricostruito mediante una campionatura effettuata $2\mathcal{B}$ volte al secondo.

Una conseguenza di tale teorema è che la massima capacità di un canale di comunicazione dotato di una banda passante da 0 a \mathcal{B} Hz (passa-basso di banda \mathcal{B}) che trasporta un segnale consistente di n livelli discreti è pari a $2\mathcal{B} \log_2 n$.

3.1 Segnali Analogici e Digitali

A questo punto, è opportuno fare una distinzione tra i diversi tipi di segnali. Un segnale $s(t)$ si dice **analogico** quando è definito per qualsiasi istante di tempo e la grandezza in oggetto può assumere qualsiasi valore all'interno di un intervallo.

Definiamo adesso due operazioni fondamentali sui segnali analogici $s(t)$.

—*Discretizzazione*: consiste nel misurare l'ampiezza del segnale analogico $s(t)$ ad intervalli di tempo fissati. Sia ΔT l'intervallo di tempo tra due misure successive: la discretizzazione genera un vettore di valori $x_n = x(n\Delta T)$. È chiaro che più l'intervallo di tempo ΔT è piccolo e maggiormente riusciamo a individuare variazioni del segnale analogico. $\frac{1}{\Delta T}$ è detto anche frequenza di campionamento.

—*Quantizzazione*: La quantizzazione consiste nella trasformazione delle ampiezze di un segnale discreto in numeri interi binari ad N bit. Praticamente si suddivide l'intervallo di valori del segnale in *fettine*, di eguale spessore, ed si assegna ad ognuna di queste fettine un numero binario ad N bit. Quando il segnale cade in una di queste fettine, viene assegnata al numero binario corrispondente.

Il segnale che risulta dalla discretizzazione e dalla quantizzazione consiste essenzialmente in una sequenza di combinazioni di N bit 1 o 0, ed è detto segnale **digitale**.

In figura 3 è riportato schematicamente il processo di trasformazione da analogico a digitale.

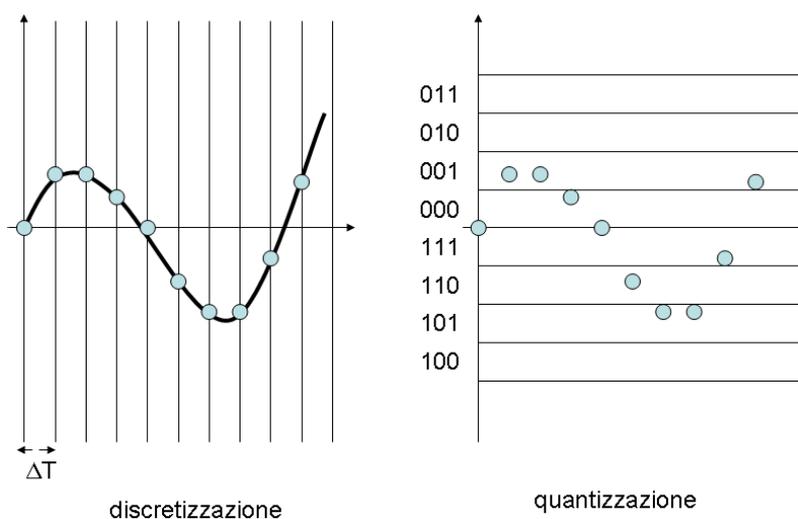


Fig. 3. Trasformazione da segnale analogico a digitale

4 I mezzi trasmissivi

Trasmettere un segnale $s(t)$ elettrico esige un mezzo trasmissivo che generalmente è una linea di trasmissione. Nel caso storicamente più semplice, la linea è costituita da una coppia di conduttori (fili), oppure si possono avere onde elettromagnetiche che si propagano nello spazio o fasci di luce che vengono convogliati e guidati in una fibra ottica. Avere conoscenza del tipo di mezzo trasmissivo a cui si fa riferimento è importante in quanto determina il numero massimo di bit che possono essere trasmessi in un secondo, o **bps**.

4.1 Linea Bifilare e Doppino

La linea bifilare è formata da due fili (di rame), isolati l'uno dall'altro. Viene generalmente usato per collegare dispositivi che non distano più di 50 m, ad una velocità di circa 19.2 bps. In uno dei due fili viaggia di solito una tensione (o corrente), nell'altro una tensione di riferimento. Un cavo multiplo è formato da n fili su cui viaggia l'informazione ed un filo per il riferimento. Pur essendo molto semplice, questo tipo di linea è affetta da fenomeni di interferenza dei segnali elettrici dei fili adiacenti nel cavo (diafonia).

Per rendere più robusta la trasmissione rispetto al rumore, si può utilizzare una linea

bifilare con fili intrecciati (binatura), detta coppia simmetrica o doppino. In questo modo si riducono i fenomeni di diafonia.

Il doppino può essere singolo (una sola coppia) oppure in una treccia di una serie più o meno numerosa di coppie.

Queste linee, dette anche in inglese Unshielded Twisted Pair (UTP) non prevedono alcun tipo di schermatura. La versione schermata (Shielded Twisted Pair, STP), riduce ulteriormente l'interferenza.

I cavi UTP sono costituiti solitamente da quattro coppie di fili, isolati singolarmente ed avvolti in spire a due a due senza schermatura aggiuntiva. I cavi sono caratterizzati da categorie (level) e le differenze consistono nella realizzazione degli avvolgimenti; i livelli sono definiti in base a capacità di banda entro distanze definite (100 m), come nel seguito riportato:

—**UTP level 3:** garantisce fino a 16 MHz di banda;

—**UTP level 4:** garantisce fino a 20 MHz;

—**UTP level 5:** garantisce fino a 100 MHz.

—**doppini performanti,** level 5e, 6 e 7.

I doppini UTP level 3 sono detti anche di qualità fonica, e sono utilizzati sia per la telefonia che per la trasmissione dati fino a 10 Mbps. I doppini UTP level 5 sono utilizzati nelle reti locali a velocità superiore (fino a 1 Gbps). Il doppino per le sue caratteristiche di maneggevolezza e di basso costo è molto diffuso sia per la telefonia (quasi tutte le connessioni del sistema telefonico nell'ultimo tratto sono costituite da doppini), che per le reti locali (generalmente realizzato tramite UTP o STP)

4.2 Cavo coassiale

Il cavo coassiale è costituito da un conduttore interno in rame, avvolto in un isolante di materiale plastico (dielettrico) attorno al quale è posto il conduttore esterno (una "calza" metallica), il tutto ricoperto da un isolante.

Per la sua struttura, il cavo coassiale mostra una minore sensibilità alle interferenze nonché una minore attenuazione del segnale in funzione della distanza, rispetto al doppino. Il cavo coassiale ha una larghezza di banda fino a 500 MHz: per questo è molto diffuso per le connessioni a lunga distanza e per le trasmissioni che richiedono una banda larga.

Come il doppino telefonico, sulle distanze superiori al Km necessita di amplificatori o ripetitori.

4.3 Fibra ottica

Il cavo in fibra ottica è costituito da un sottile filo di sostanza vetrosa, generalmente silicio, molto fragile, detto *core* (nucleo), attraverso il quale si propaga la luce; il nucleo è avvolto da una sostanza (mantello) con proprietà ottiche differenti dal nucleo stesso; a sua volta il mantello è avvolto in una guaina che protegge il cavo da umidità e deformazioni.

Le proprietà ottiche del nucleo e del mantello sono tali che la luce introdotta nel nucleo non ve ne esce più, e viene *riflessa* in modo da viaggiare lungo il nucleo fino a destinazione. Il segnale luminoso può essere generato in due modi differenti:

- *tramite LED* (Light Emitting Diode): più economico, adatto per trasmissioni a tratta corta su fibre multimodali ed a basso tasso trasmissivo;
- *tramite diodi ad emissione laser*: molto più costoso, adatto per trasmissioni ad alto tasso trasmissivo per lunghe distanze, più sensibile al calore.

La banda trasmissiva della fibra si aggira intorno ai 30 THz (30000 GHz); la tecnologia attuale permette tassi trasmissivi fino a 10 Gbps, ma in laboratorio si raggiungono tassi maggiori a breve distanza.

Tipicamente, i cavi a fibra ottica contengono centinaia di fibre distinte. Le fibre sono molto più sottili e leggere dei cavi in rame (e ciò può essere "fisicamente" un problema quando si vuole stendere un cavo sulle lunghe distanze, ad esempio uno transoceanico); di contro, la fibra garantisce una attenuazione significativamente inferiore al rame; i continui miglioramenti tecnologici del mezzo trasmissivo hanno ad oggi consentito di effettuare una trasmissione, senza ripetitori, fino a 25/30 km di distanza.

In figura 4 sono mostrati schematicamente i tre diversi mezzi trasmissivi guidati.

4.4 Trasmissioni wireless

La trasmissione di dati viene spesso realizzata utilizzando la trasmissione di onde elettromagnetiche nell'aria o nello spazio, caratterizzate dallo spettro di trasmissione.

Se le onde sono trasmesse in una banda compresa tra il KHz ed il GHz, si parla di *radiodiffusione*. Si utilizza di solito in modalità unidirezionale a broadcast per le trasmissioni radio o televisive. Nella regione compresa tra 1 e 40 GHz (microonde), la propagazione delle onde elettromagnetiche è abbastanza direzionale (o direzionabile con antenne paraboliche), e viene utilizzata per trasmissioni punto-punto in ponte radio, o trasmissioni satellitari punto-punto o broadcast.

La banda di frequenza delle microonde (1-40 GHz) ha le caratteristiche di poter utilizzare antenne paraboliche di dimensioni maneggevoli (fino a qualche metro di

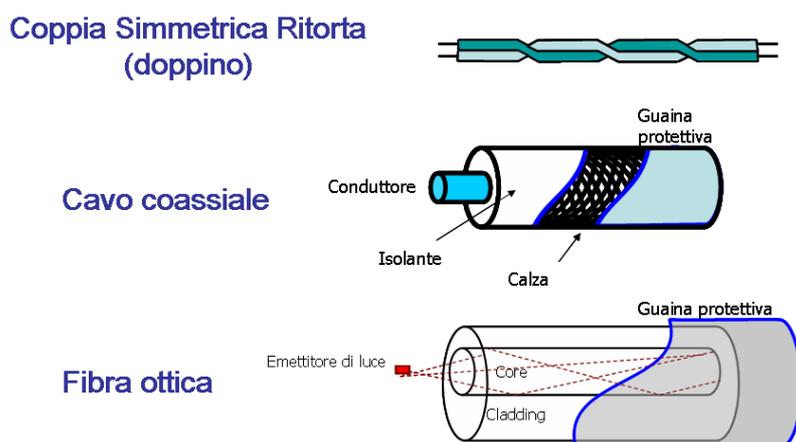


Fig. 4. Doppino Telefonico, Cavo coassiale, Fibra Ottica

diametro). Si può quindi realizzare una comunicazione punto-punto tra sorgente e destinazione con allineamento ottico delle antenne.

Molto usate sono anche le trasmissioni *satellitari*, in cui microonde vengono trasmesse da una stazione di terra al satellite. Di solito nelle telecomunicazioni le trasmissioni satellitari si avvalgono di satelliti GEO (Geostationary Earth Orbit), a 36000 Km di quota in orbita equatoriale, che appaiono in posizione fissa nel cielo.

5 La trasmissione dei dati

La comunicazione dei dati si riferisce allo scambio di informazioni in forma digitale tra un sorgente ed un destinatario. Il sorgente può essere vicino al destinatario oppure lontano con distanze che vanno da alcune decine di metri e molte centinaia di chilometri se i due dispositivi sono collegati su una rete pubblica.

Nel seguito vedremo le principali tecniche per la trasmissione dei dati, come evidenziato anche in figura 5.

—*Trasmissione parallela:* all'interno di un dispositivo ed in genere quando le distanze sono piccole (dell'ordine di pochi metri), si può pensare di trasferire i dati usando un filo separato per trasmettere ciascun bit, come in figura . I dati verranno dunque scambiati usando un metodo di trasferimento parallelo ed un'intera parola codice può essere trasferita nell'unità di tempo. Si ottengono in questo caso alte velocità di trasmissione, ma si ha un maggiore ingombro di circuiti e di collegamenti.

—*Trasmissione seriale*: per trasferire dati tra dispositivi distanti diversi metri, si usa di solito una sola coppia di linee. In questo caso si invia sulla linea un solo bit per volta, usando un intervallo di tempo prefissato per ciascun bit. Ciò comporta una minore velocità di trasmissione, ma una maggiore semplicità di collegamenti, e quindi minori costi

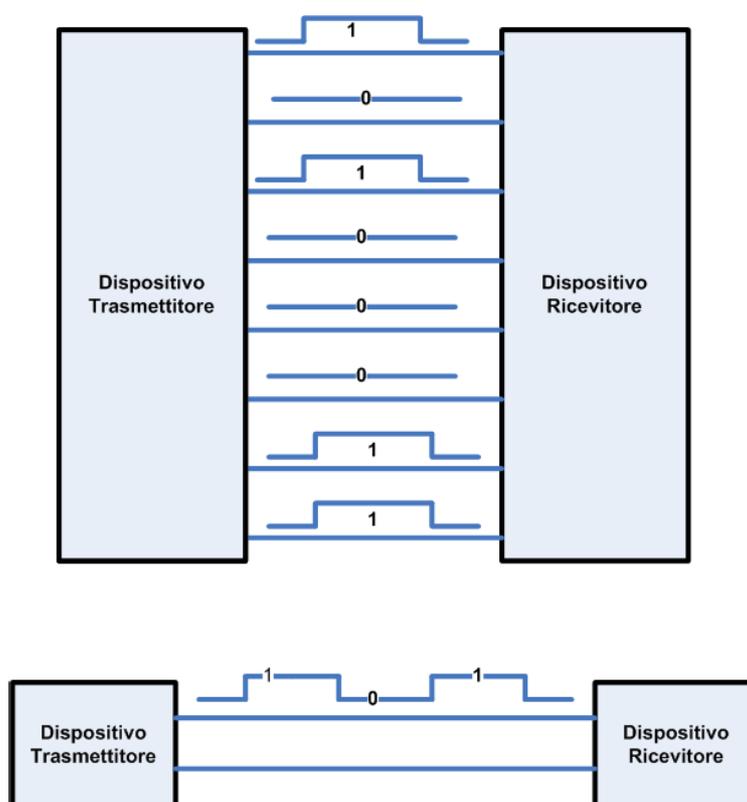


Fig. 5. Trasmissione Seriale e Parallela

Per quanto attiene la temporizzazione della trasmissione, si distingue tra trasmissione *sincrona* e *asincrona*. Nella trasmissione sincrona, il trasmettitore ed il ricevitore devono avere orologi sincronizzati (uno stesso orologio) per gestire la temporizzazione dei bit trasmessi. Si noti che l'informazione relativa alla sincronizzazione può anche

essere contenuta nei dati mediante speciali codifiche. Nella trasmissione asincrona, invece, il ricevitore deve "risincronizzarsi" all'inizio di ogni nuovo carattere: a tal fine, ciascun carattere (1 byte) viene racchiuso tra un bit di start aggiuntivo ed uno o più bit di fine (stop), come mostrato in figura 6.

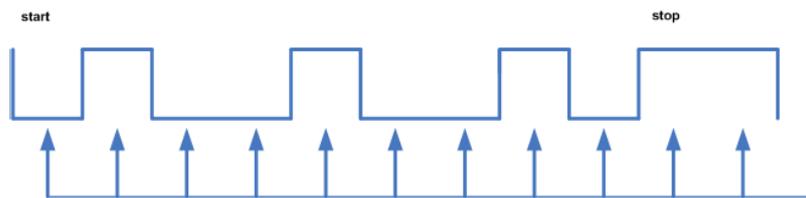


Fig. 6. Trasmissione sincrona

Una ulteriore utile terminologia, è quella che riguarda la direzione della trasmissione. In particolare, dati due dispositivi X e Y , si parla di trasmissione:

- simplex* se la comunicazione avviene solo in una direzione (ad esempio da X verso Y);
- full duplex*: se la comunicazione avviene *contemporaneamente* in entrambe le direzioni, da X ad Y e da Y ad X contemporaneamente;
- half duplex*: se la comunicazione avviene in entrambe le direzioni, ma non contemporaneamente.