

## La trasmissione dell'informazione - Generalità

L'informazione codificata può subire "*manipolazioni*" o "*trattamenti*". L'*elaborazione* matematica è una delle possibili manipolazioni dei numeri. L'informazione non numerica può essere *ordinata* od *archiviata*, come avviene, per esempio, in un programma di "*database*".  
**L'informazione di ogni tipo può essere trasmessa.**

La **trasmissione dell'informazione** implica una *sorgente* che genera l'informazione da trasmettere.

Una parte autoconsistente d'informazione si definisce, *messaggio*. Esso viene trasmesso attraverso un *canale* o *mezzo* che può essere un doppino telefonico, un cavo coassiale o una fibra ottica, oppure l'etere, se l'informazione è irradiata da una antenna verso un'altra.

Un *codificatore* trasforma, quando è necessario, il messaggio in sequenze di segnali adatti ad essere trasmessi lungo il mezzo scelto.

Un *decodificatore* trasforma i segnali ricevuti in informazione codificata nella forma originale od in una diversa per consentirne l'interpretazione.

Una unità di *destinazione* riceve ed interpreta i messaggi.

## Intersezione tra Telecomunicazioni ed Informatica

La trasmissione dell'informazione e le tecniche necessarie per effettuarla non sono riservate alle **telecomunicazioni** a grande distanza.

Non a caso oggi si parla di *Telematica* come Scienza nata dal connubio tra **Telecomunicazioni ed Informatica**.

Quando bisogna trasferire in **tempi brevissimi grandi quantità d'informazione**, come avviene spesso tra due sottosistemi di un moderno calcolatore, possono essere necessarie tecniche di trasmissione sofisticatissime per coprire distanze dell'ordine di una decina di centimetri o anche meno.

Un semplice *sistema di comunicazione* è quello che collega la tastiera alla memoria di un computer. L'utente che batte il tasto è la *sorgente*; la tastiera e la sua logica di controllo, che generano il codice ASCII corrispondente al tasto, formano il *codificatore*. Il *canale* è costituito dal cavo di collegamento. Il *decodificatore* è un opportuno circuito integrato sulla scheda madre del computer; la *destinazione* è una prestabilita zona della memoria della macchina. Si tratta di un sistema di comunicazione tra i più lenti, visto che coinvolge le potenzialità fisiche di un essere umano.

## Adattamento della codifica al canale

Il codificatore **trasforma l'informazione in sequenze di segnali adatti ad essere trasmessi attraverso il canale.**

Le **caratteristiche del canale** possono essere determinanti nella scelta della codifica del *messaggio* che, come *informazione in movimento*, deve necessariamente essere **adattata al mezzo di comunicazione.**

In generale, quindi, l'informazione può essere disponibile in un *codice sorgente* che soddisfa le esigenze del sistema che la produce. Il codificatore la convertirà in un *codice canale* ed il decodificatore in un *codice destinazione* che potrebbe essere diverso dai primi due.

Un esempio perfettamente calzante è rappresentato dalle ormai storiche trasmissioni telegrafiche in **codice Morse** i cui 36 simboli (26 caratteri alfabetici e 10 cifre) sono riportate nella tabella seguente.

In realtà, oltre a quelli della tabella, esiste un ulteriore codice, quello di separazione tra i caratteri, associato ad una pausa un po più lunga di quelle tra i punti e le linee.

Si osservi che esistono codici da 2 elementi e codici da 5. I codici più lunghi sono assegnati ai simboli meno probabili.

## Il codice MORSE

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	· - ·	0	- - - - -	9	- - - - - ·

## Ridondanza dell'informazione

Per codificare  $n$  simboli, utilizzando tutte le possibili combinazioni dei bit sono sufficienti  $\lceil \log_2(n) \rceil + 1$  bit.

E' vero che se tutte le combinazioni dei due simboli binari sono assegnate ad un messaggio non c'e' *ridondanza*?

Se gli  $n$  simboli o messaggi sono equiprobabili la risposta è: **SI**

Se esiste una apprezzabile **differenza di probabilità di occorrenza tra i messaggi** e si assegnano i **codici più corti a quelli che si presentano più frequentemente**, la lunghezza totale di un certo numero di messaggi può diminuire apprezzabilmente rispetto al caso di una codifica uniforme, dando luogo ad una **lunghezza media del messaggio inferiore** a quella della formula. **Vedi esempio ®**

La ridondanza è importante perché **tutti i sistemi di comunicazione hanno un limite di flusso esprimibile in bit/sec**. Fissato il numero di bit trasferibile in un certo tempo, questo corrisponderà ad una **quantità d'informazione tanto maggiore quanto minore è la lunghezza media dei messaggi**. Considerazioni perfettamente simili possono essere fatte per **l'area di memoria necessaria per contenere l'informazione**.

Ottobre 2001

Arch. degli Elabor. Mod.A - 2. Trasmissione dell'informazione

5

## Ridondanza dell'informazione: Esempio

Se una sorgente può generare **6 diversi messaggi  $m_1, \dots, m_6$**

e le corrispondenti probabilità di generazione sono:

$$\begin{array}{lll} p(m_1) = 15 / 32; & p(m_2) = 9 / 32; & p(m_3) = 3 / 32; \\ p(m_4) = 3 / 32; & p(m_5) = 1 / 32; & p(m_6) = 1 / 32 \end{array}$$

e si assegnano i seguenti codici:

$$m_1 = 0; \quad m_2 = 10; \quad m_3 = 110; \quad m_4 = 1110; \quad m_5 = 11110; \quad m_6 = 11111;$$

la lunghezza media di un messaggio risulta essere:

$$(15 \times 1 + 9 \times 2 + 3 \times 3 + 3 \times 4 + 1 \times 5 + 1 \times 5) / 32 = 2,0$$

Il procedimento adottato è perfettamente trasparente; si sono assegnati i **codici con numero di bit più alto ai messaggi meno probabili**.

La **lunghezza media del messaggio, che con il codice uniforme avrebbe richiesto 3 bit** (8 combinazioni da 000 a 111), sia pure sotto particolari ipotesi, è **passata a 2 bit**.

Ottobre 2001

Arch. degli Elabor. Mod.A - 2. Trasmissione dell'informazione

6

## **Il rumore elettronico (*electronic noise*)**

**I sistemi di comunicazione** a monte ed a valle del supporto fisico della comunicazione (cavo, doppino telefonico od altro) sono costituiti da **circuiti elettronici**, che sono per definizione soggetti al cosiddetto **rumore bianco** che è intimamente legato alle caratteristiche dei **dispositivi attivi** (*shot noise*) e **passivi** (*Johnson noise*) utilizzati.

Il rumore bianco può essere ridotto ma è **ineliminabile**.  
Esso è presente **a tutte le frequenze** ed ha **ampiezza mediamente costante nel tempo** se non intervengono modificazioni dei parametri in gioco, per esempio la temperatura.

Esistono **altri tipi di rumore** (*deterministici* o *casuali*) tutti, in ultima analisi legati alla presenza di altre **apparecchiature elettriche** che li generano.

## **Probabilità di errore**

**La presenza del rumore comporta inevitabilmente la possibilità che un livello logico che codifica elettricamente uno "0" venga interpretato da uno dei circuiti elettronici come quello rappresentativo di un "1".**

Questa probabilità è **tanto più grande** quanto **maggiore è il livello di rumore** (rapporto segnale/rumore) e (in primissima approssimazione) **tanto più piccola** quanto **maggiore è la differenza di tensione tra il livello "0" ed il livello "1"** (*immunità al rumore*) dei circuiti elettronici del sistema.

Per **ridurre la probabilità di errore** in un sistema di comunicazione si può cercare di **diminuire il rumore ed aumentare l'immunità al rumore** dei circuiti, ma si può anche fare in modo che **eventuali errori vengano rilevati** e, in qualche caso, addirittura **corretti**, in modo che essi non influenzino, se non in minima parte, le prestazioni del sistema.

## Rilevazione e correzione degli errori Il ruolo della *ridondanza*

Se c'è **ridondanza** nel codice, non tutte le combinazioni di bit sono associate ad un simbolo o carattere. L'inversione di un "1" con uno "0" può portare ad una **combinazione non utilizzata** il cui riconoscimento equivale ad una **rilevazione di errore**.

Alla categoria dei codici ridondanti appartiene, per esempio, un **particolare codice BCD** in cui i simboli del sistema decimale (0,...9) sono rappresentati con 5 bit, utilizzando esclusivamente le combinazioni di bit che hanno due soli "1" (o "0") su cinque; detto perciò codice "*due su cinque*". E' ovvio che la presenza di una combinazione di bit con tre "1", invece che due, è un chiaro indice di errore.

**La ridondanza che sembrava un male da estirpare con decisione viene introdotta di proposito, ma in maniera oculata.**

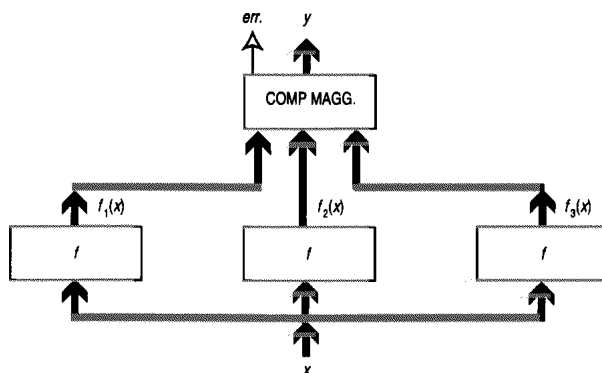
La **ridondanza** può essere introdotta in un sistema anche a **livello strutturale** adoperando la *logica maggioritaria*.

Ottobre 2001

Arch. degli Elabor. Mod.A - 2. Trasmissione dell'informazione

9

## Logica maggioritaria



Il bit d'errore sarà **attivato (livello "1")** soltanto se tra i tre ingressi del comparatore **non ce ne sono due uguali**:  $f_1(x) \neq f_2(x) \neq f_3(x)$ .

In **tutti gli altri casi**: ( $f_1(x) = f_2(x) \neq f_3(x)$ ;  $f_1(x) \neq f_2(x) = f_3(x)$ ;  $f_1(x) = f_3(x) \neq f_2(x)$ ), **il bit di errore rimarrà a "0"** e sarà sempre preso come risultato, **quello dato da almeno due delle unità di elaborazione**.

Ottobre 2001

Arch. degli Elabor. Mod.A - 2. Trasmissione dell'informazione

10

## Controllo di parità

**Il controllo di parità** è una tecnica efficace per il rilevamento di un errore. E' molto meno costosa della logica maggioritaria, ma non consente la correzione degli errori.

Consiste nell'**associare ad ogni gruppo di bit un "1" se il numero di "1" presenti è dispari, o uno "0" se il numero di "1" è pari**. Il risultato è che il gruppo di bit di partenza più il bit aggiunto debbono avere sempre un numero di "1" pari (*parità pari*).

Se si fa la scelta duale si ha una *parità dispari*.

Quest'ultima scelta è preferibile perché nel caso che il gruppo di bit sia di tutti "0" ci sarà **al valore "1"** almeno **il bit di parità**, evitando la trasmissione di una **combinazione di tutti "0"** che potrebbe essere facilmente simulata da un guasto.

In caso di **errore singolo** (un "1" che diventa "0" o viceversa) un semplice controllo consente di **rilevare l'errore**, che, però diventa **irricognoscibile** nel caso di **doppio errore**, indipendentemente dal tipo di errore.

## Doppio controllo di parità

messaggio	controllo longitud.	messaggio	controllo longitud.	messaggio	controllo longitud.
00100000	0	00100000	0	00100000	0
10100111	0	10100111	0	10100111	1
01000001	1	01000001	1	01000001	1
10001010	0	10001010	0	10001010	0
00110010	0	00110010	0	00110010	1
01010101	1	01010101	1	01010101	1
00011011	1	00011011	1	00011011	1
01100101	1	01100101	1	01100101	1
10101010		10101010		10101110	
controllo trasversale		controllo trasversale		controllo trasversale	
(a) testo originale		(b) 1 errore rilevabile		(c) 3 errori non rilevabili	



## Codici di Hamming

Usano la ridondanza per fare in modo che due qualsiasi parole distinte differiscono fra loro per almeno  $h$  bit, dove  $h$  è la *cosiddetta distanza di Hamming*. I codici non ridondanti hanno  $h = 1$ , il codice con bit di parità  $h = 2$ ; il più semplice codice di Hamming è quello con  $h = 3$ .

Il numero dei bit di controllo necessari per una parola di  $n$  bit si ricava dalla condizione:

$$2^k \geq n+k$$

Il numero totale di bit della stringa passa da  $n$  a  $n+k$ .

I  $k$  bit di controllo debbono essere posizionati in maniera opportuna negli  $n+k$  bit della nuova stringa da trasmettere.

Assegniamo a ciascuna posizione della stringa un indice  $i$  ( $1, 2, \dots, n+k$ ). I bit di controllo  $p_0, p_1, p_2, \dots, p_{k-1}$  debbono essere associati agli indici nel cui codice binario c'è un solo "1" di peso rispettivamente,  $2^0, 2^1, \dots, 2^{k-1}$ .

Ciascuno dei bit di controllo garantisce l'integrità di se stesso e di tutti i bit della stringa il cui indice in binario ha un "1" di peso corrispondente alla potenza del 2 associata al pedice del bit stesso ( $p_0 \text{ @ } 2^0, p_1 \text{ @ } 2^1, \dots, p_{k-1} \text{ @ } 2^{k-1}$ ).

## Codice di Hamming ( $h=3$ ) per una stringa di 8 bit

Per una stringa di 8 bit,

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$ ,

occorrono 4 bit di controllo,

$p_0, p_1, p_2, p_3$ .

La successione da trasmettere é:

$p_0, p_1, b_0, p_2, b_1, b_2, b_3, p_3, b_4, b_5, b_6, b_7$

La specifica funzione dei bit di controllo, che entra in gioco in caso di errore, è che **ciascuno controlla la parità dei bit:**

$p_0: p_0, b_0, b_1, b_3, b_4, b_6;$

$p_1: p_1, b_0, b_2, b_3, b_5, b_6;$

$p_2: p_2, b_1, b_2, b_3, b_7$

$p_3: p_3, b_4, b_5, b_6, b_7$

		$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
$p_0$	0	0	0	1	
$p_1$	0	0	1	0	
$b_0$	0	0	1	1	
$p_2$	0	1	0	0	
$b_1$	0	1	0	1	
$b_2$	0	1	1	0	
$b_3$	0	1	1	1	
$p_3$	1	0	0	0	
$b_4$	1	0	0	1	
$b_5$	1	0	1	0	
$b_6$	1	0	1	1	
$b_7$	1	1	0	0	



## Esempio pratico

$b_0 b_1 b_2 b_3 b_4 b_5 b_6 b_7$  La successione da trasmettere è:  
0 0 1 1 1 1 0 1  $p_0, p_1, b_0, p_2, b_1, b_2, b_3, p_3, b_4, b_5, b_6, b_7$

I bit di controllo sono:

$p_0 = 1$  perché tra i bit da esso controllati ci sono "1" in numero pari (2),  $b_3$  e  $b_4$ ;

$p_1 = 0$  perché gli "1" sono 3,  $b_2$ ;  $b_3$  e  $b_5$ ;

$p_2 = 0$  perché gli "1" tra i suoi bit controllati sono 3,  $b_2$ ,  $b_3$  e  $b_7$ ;

$p_3 = 0$  perché gli "1" tra i suoi bit controllati sono 3,  $b_4$ ,  $b_5$  e  $b_7$ .

La stringa da trasmettere sarà pertanto: **100001101101** ;

Se viene ricevuta la successione: **100101101101**, per effetto di un errore sul quarto bit che corrisponde a  $p_2$ , dopo il controllo di parità, si troverà  $p'_2 = 1 \neq p_2$  e, poiché tutti gli altri bit che contribuiscono alla parità,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ ,  $b_7$  coincidono, è evidente che l'errore è avvenuto su  $p_2$  che sarà riportato a "0"