

Fondamenti di Telecomunicazioni – domande esame:

1) Conversione A/D: quantizzazione

La quantizzazione è il secondo passaggio che si verifica nella conversione Analogico/Digitale con tecnica PCM, subito dopo il campionamento, consiste nel trasformare la serie di campioni, continua nei valori, nella serie di valori quantizzati, discreta nei valori (si tratta di un'operazione non reversibile). Assumendo $x(t)$ bilanciato con valori compresi nell'intervallo $[-M, M]$, i campioni risulteranno anch'essi compresi in detto intervallo. Per poter procedere è necessario ridurre il numero dei valori da infinito a finito, l'operazione è detta quantizzazione e consiste in un'approssimazione dei valori ottenuti. L'intervallo $[-M, M]$ viene suddiviso in un numero finito L di intervalli e tutti i valori interni a ciascuno di questi vengono identificati con uno di essi che indichiamo con q_n . L'intervallo su cui opera $[-M_q, M_q]$ viene detto "dinamica del quantizzatore" ed è opportuno che coincida con quella del segnale. Se la dinamica è divisa in intervalli uguali il quantizzatore si dice uniforme, altrimenti non uniforme. L'errore di quantizzazione è la differenza fra campione e valore quantizzato: $e_n = x_n - q_n$, il valore rappresentativo di ogni intervallo è arbitrario ma spesso viene scelto per simmetria il valore centrale poiché minimizza l'errore massimo. La legge di quantizzazione è $q_n = f(x_n)$, i valori assumibili da q_n vengono anche detti "livelli" di quantizzazione, la scelta della miglior legge di quantizzazione dipende dalla statistica dei campioni. Per semplicità si usa spesso il quantizzatore uniforme, maggiore è il numero di livelli L , minore sarà l'errore di quantizzazione (l'aumento di L comporta però un aumento del numero di bit).

2) Modulazione AM: grafico oscillazione modulante + grafico modulata con $m_a = 0.5$

La modulazione AM = modulazione d'ampiezza (Amplitude Modulation) modifica solo l'ampiezza dell'oscillazione portante.

AM $\rightarrow m(t) = kx(t)$ da cui otteniamo: $s(t) = V_0[1 + kx(t)]\cos(\omega_0 t - \phi_0)$

$$\alpha(t) = 0$$

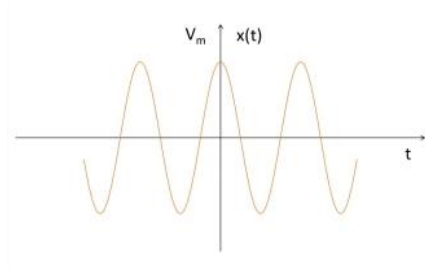


Fig.98 Oscillazione modulante.

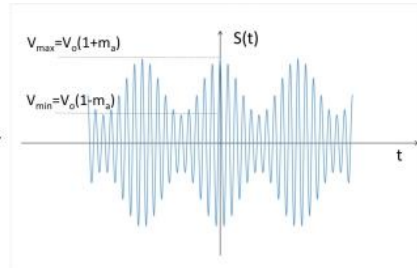


Fig.100 Oscillazione modulata AM ($m_a=0.5$).

$$m_a = \max(|m(t)|) \quad m_a \in [0, 1]$$

L'indice di modulazione (m_a) indica il livello di modulazione (quanto si trasforma). Se $m_a = 0$ la modulazione è nulla, se $m_a = 1$ la modulazione è massima. Per evitare la sovramodulazione bisogna avere $kM \leq 1$, si deve avere in ingresso $M \leq 1/K$.

Sovramodulazione AM $\rightarrow V(t) = V_0|1 + kx(t)|$

$$\alpha(t) = 0 \text{ se } 1 + kx(t) > 0, \pi \text{ se } 1 + kx(t) < 0$$

3) Modulazione FM

Modulazione FM (Frequency Modulation). Viene modificato solo l'argomento dell'oscillazione portante (solo la modulazione in angolo è presente).

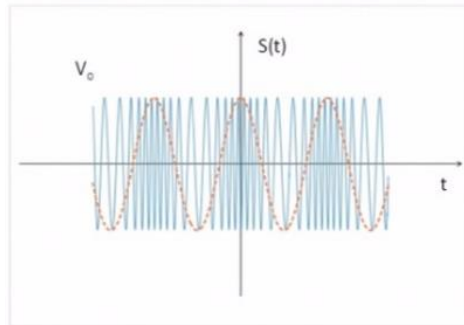
Modulazione FM $\rightarrow m(t) = 0$

$$\Delta\omega(t) = kx(t)$$

$$\alpha(t) = k \int x(\tau) d\tau \text{ (integrale da } -\infty \text{ a } t), \text{ deviazione istantanea.}$$

Espressione dell'oscillazione modulata: $s(t) = V_0 \cos[\omega_0 t + k \int x(\tau) d\tau - \phi_0]$

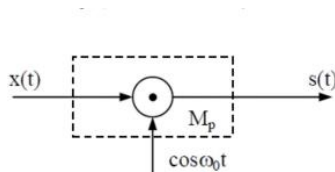
FM



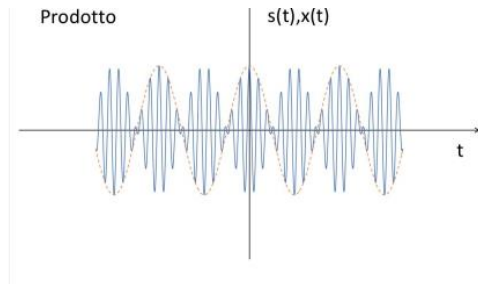
4) Modulazione a prodotto

La modulazione a prodotto può essere ottenuta direttamente, senza passare dall'AM, facendo il prodotto del segnale modulante $x(t)$ per una sinusoide tramite un circuito detto modulatore a prodotto o "mixer" ottenendo:

$$s(t) = x(t) \cos \omega_0 t$$



La modulazione a prodotto è importantissima nella sua versione digitale (ASK, L-ASK).



OSCILLAZIONE MODULATA
A PRODOTTO (CONTINUO)
OSCILLAZIONE MODULANTE
(TRATTEGGIATA)

L'involuppo complesso è estremamente semplice in quanto coincide con il segnale modulante: $i(t) = x(t)$.

La modulazione è ibrida, infatti sia l'ampiezza istantanea che la deviazione istantanea di fase variano nel tempo.

$$V(t) = |x(t)| \quad \alpha(t) = 0 \text{ se } x(t) > 0, \pi \text{ se } x(t) < 0$$

Gli spettri si ottengono immediatamente dall'espressione della trasformata: $S(\omega) = 1/2X(\omega - \omega_0) + 1/2X(\omega + \omega_0)$

La banda di $s(t)$ è doppia rispetto a quella di $x(t)$. Definita come "efficienza" in frequenza della modulazione il rapporto fra banda del segnale modulante e banda dell'oscillazione vale $1/2$ nella modulazione a prodotto.

$$\eta_f = B_x/B_s = \omega_m / 2\omega_m = 1/2$$

5) QAM

La modulazione QAM (Quadrature Amplitude Modulation) è la somma di due modulazioni a prodotto (non AM!) con portanti in "quadratura". Vi sono due segnali modulanti $x_1(t)$ e $x_2(t)$ aventi le stesse caratteristiche spettrali, devono inoltre essere indipendenti, cioè non legati fra di loro da nessuna relazione.

$$s(t) = x_1(t) \cos \omega_0 t - x_2(t) \sin \omega_0 t$$

- Modulatore:

Essa, infatti, consiste di due modulazioni a prodotto con portanti in quadratura, cioè con la seconda portante sfasata in anticipo di $\pi/2$.

L'involuppo complesso è la somma dei due involuppi complessi, fase è quadratura. (indipendenti!)

$$i(t) = x_1(t) + jx_2(t) = \text{Re}\{(x_1(t) + jx_2(t))(\cos \omega_0 t + j \sin \omega_0 t)\}$$

Lo spettro è dato dalla sovrapposizione degli spettri di due modulazioni a prodotto. Efficienza in frequenza doppia rispetto a quella della modulazione a prodotto:

$$n_f = 2B_x/B_s = 2\omega_m / 2\omega_m = 1 \rightarrow \text{Grande vantaggio delle QAM!}$$

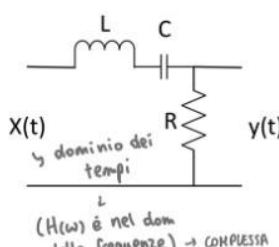
- Demodulatore:

Per il segnale in uscita al primo si ha: $u_p(t) = 2s(t)\cos\omega_0 t = 2x_1(t)\cos\omega_0 t - 2x_2(t)\sin\omega_0 t\cos\omega_0 t = x_1(t) + x_1(t)\cos 2\omega_0 t - x_2(t)\sin 2\omega_0 t$

La prima delle 3 componenti è l'unica voluta e viene isolata dal passa-basso, $x_{pd}(t) = x_1(t)$, nel caso delle QAM un errore di fase provoca non solo un'attenuazione del segnale utile, ma anche un'interferenza della via in quadratura. Infatti, nel caso di una sfasatura in ritardo si ha: $x_{pd}(t) = x_1(t)\cos\Delta - x_2(t)\sin\Delta$

6) Rete lineare LCR: funzione di trasferimento, caratteristica di ampiezza e fase

FUNZIONE DI TRASFERIMENTO RETE LCR (SERIE)



\rightarrow impedenza sul primo ramo $Z_1 = j\omega L + \frac{1}{j\omega C}$

$H(\omega) = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{R}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega CR}{1 - \omega^2 LC + j\omega CR}$

FUNZIONE DI TRASFERIMENTO = TRASFORMATA DI FOURIER DELLA RISPOSTA IMPULSIVA
 $H(\omega) = F[h(t)]$

Ampiezza: $T(\omega) = |H(\omega)| = \frac{|j\omega CR|}{|1 - \omega^2 LC + j\omega CR|} = \frac{\omega CR}{\sqrt{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega CR)^2}}$

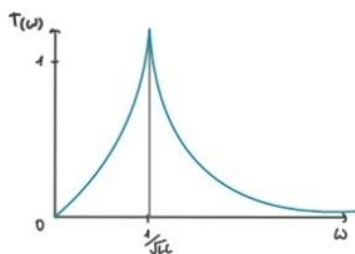
Fase: $\beta(\omega) = -\arg\{H(\omega)\} = \arg\{1 - \omega^2 LC + j\omega CR\} - \arg\{j\omega CR\} = \arg\{1 - \omega^2 LC + j\omega CR\} - \frac{\pi}{2}$

il denominatore della funzione di trasferimento ha parte reale positiva per $\omega \leq \omega_0 \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \rightarrow$ PULSAZIONE DI RISONANZA

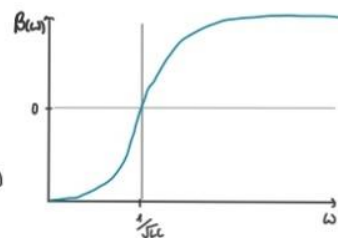
LA RETE SI COMPORTA COME UN FILTRO PASSA-BANDA REALE

$\arg\{1 - \omega^2 LC + j\omega CR\} = \begin{cases} \arctg\left(\frac{\omega CR}{1 - \omega^2 LC}\right) & \omega \leq \omega_0 \\ \arctg\left(\frac{\omega CR}{1 - \omega^2 LC}\right) + \pi & \omega > \omega_0 \end{cases}$

$\beta(\omega) = \begin{cases} \arctg\left(\frac{\omega CR}{1 - \omega^2 LC}\right) & \omega \leq \omega_0 \\ \arctg\left(\frac{\omega CR}{1 - \omega^2 LC}\right) + \pi & \omega > \omega_0 \end{cases}$

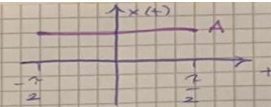


CIRCUITO LCR (serie)



7) Trasformata di Fourier del segnale $s(t) = x(t)\sin(\omega_0 t)$, dove $x(t)$ è un impulso rettangolare di durata τ

ES 7)

$$x(t) = \begin{cases} A & \text{per } |t| \leq \frac{\tau}{2} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$


$$S(\omega) = x(t) \sin(\omega_0 t) = x(t) \left[\frac{e^{j\omega_0 t} - e^{-j\omega_0 t}}{2j} \right]$$

$$S(\omega) = \frac{1}{2j} X(\omega - \omega_0) - \frac{1}{2j} X(\omega + \omega_0)$$

dove $X(\omega) = A \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} e^{-j\omega t} dt = A \left[\frac{e^{-j\omega t}}{-j\omega} \right]_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} =$

$$= A \left[\frac{e^{-j\omega \frac{\tau}{2}}}{-j\omega} + \frac{e^{j\omega \frac{\tau}{2}}}{j\omega} \right] = A \frac{2 \sin(\omega \frac{\tau}{2})}{\omega}$$

$$= A \tau \cdot \frac{\sin(\omega \frac{\tau}{2})}{\omega \frac{\tau}{2}} = A \tau \operatorname{sinc}\left(\frac{\omega \frac{\tau}{2}}{\pi}\right) = \tau \operatorname{sinc}\left(\frac{\omega \frac{\tau}{2}}{\pi}\right)$$

$$S(\omega) = \frac{1}{2j} X(\omega - \omega_0) - \frac{1}{2j} X(\omega + \omega_0) = \frac{\tau}{2j} \left[\operatorname{sinc}\left(\frac{(\omega - \omega_0) \frac{\tau}{2}}{\pi}\right) - \operatorname{sinc}\left(\frac{(\omega + \omega_0) \frac{\tau}{2}}{\pi}\right) \right]$$

come trovare $S(\omega)$

$$S(\omega) = x(t) \sin(\omega_0 t) = x(t) \frac{e^{j\omega_0 t} - e^{-j\omega_0 t}}{2j} =$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j\omega t} \left(\frac{e^{j\omega_0 t} - e^{-j\omega_0 t}}{2j} \right) dt = \frac{1}{2j} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j(\omega - \omega_0)t} dt + \frac{1}{2j} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j(\omega + \omega_0)t} dt$$

$$= \frac{1}{2j} [X(\omega - \omega_0) - X(\omega + \omega_0)]$$

8) Antitrasformata di un impulso rettangolare nelle frequenze

$$X(\omega) = \begin{cases} X_0 & |\omega| < \omega_m \\ 0 & |\omega| > \omega_m \end{cases} \quad X_0 > 0$$

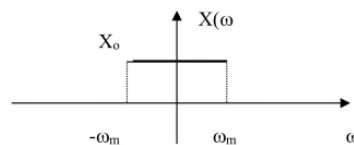


Fig. 24 Impulso nelle frequenze.

Questo esercizio è il duale dell'esercizio 2. Questa volta si vuole $x(t)$, quindi si procede dalle frequenze ai tempi.

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega) e^{j\omega t} d\omega = \frac{X_0}{2\pi} \int_{-\omega_m}^{+\omega_m} e^{j\omega t} d\omega = \frac{X_0}{2\pi} \left[\frac{e^{j\omega t}}{jt} \right]_{-\omega_m}^{+\omega_m} =$$

$$= \frac{X_0 \omega_m}{\pi} \frac{\sin(\omega_m t)}{\omega_m t} = X_0 \frac{\sin(\omega_m t)}{\omega_m t} = X_0 \operatorname{sinc}\left(\frac{\omega_m t}{\pi}\right)$$

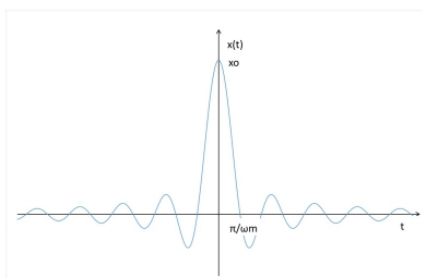


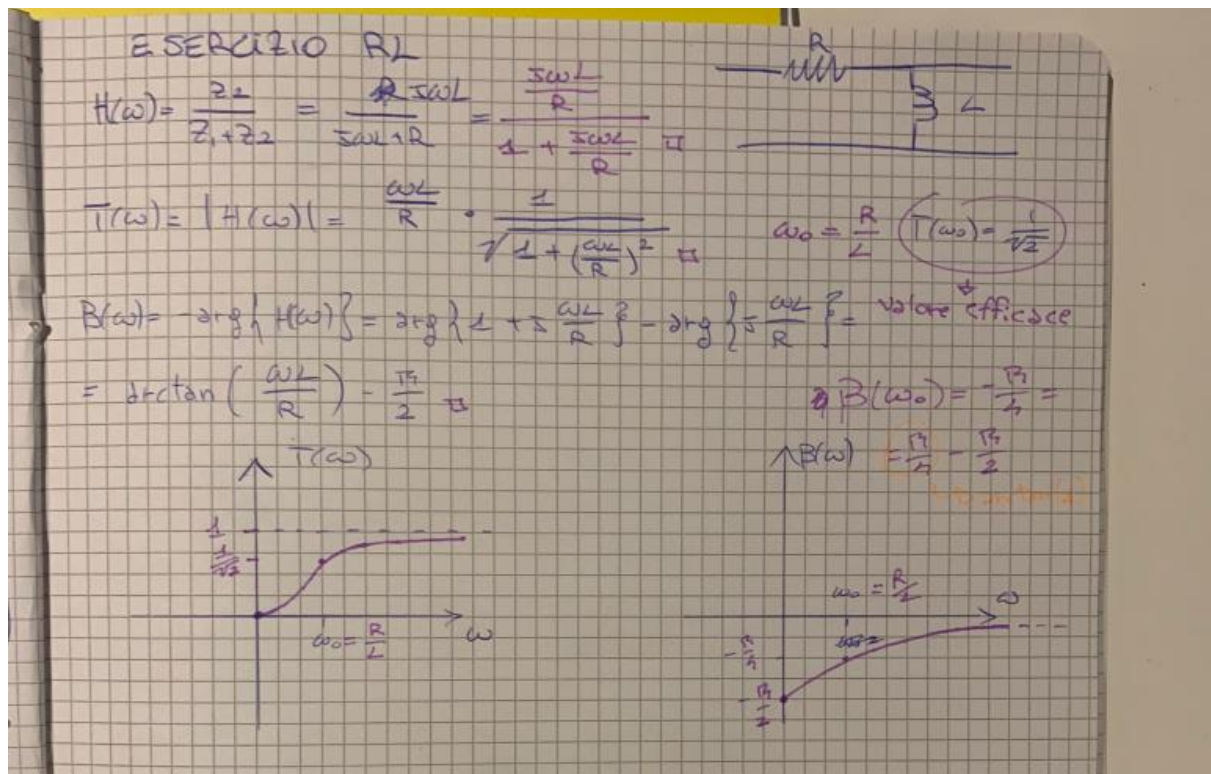
Fig. 25 Antitrasformata di un impulso nelle frequenze.

All'impulso nelle frequenze corrisponde un sinc nei tempi, viceversa ad un impulso nei tempi corrisponde un sinc nelle frequenze.

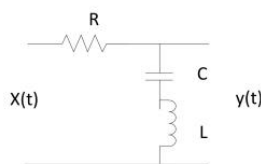
Maggiore la banda, più stretto il sinc. (ω_m)

SINC \leftrightarrow IMPULSO RETTANGOLARE

9) Rete lineare RL: funzione di trasferimento, caratteristica di ampiezza e fase



10) Circuito RCL (serie)



$$Z_1 = R \quad Z_2 = j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \rightarrow H(\omega) = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1 - \omega^2 LC}{1 - \omega^2 LC + j\omega CR}$$

Le caratteristiche di ampiezza e fase sono date da:

$$T(\omega) = |H(\omega)| = \frac{|1 - \omega^2 LC|}{|1 - \omega^2 LC + j\omega CR|} = \frac{|1 - \omega^2 LC|}{\sqrt{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega CR)^2}}$$

$$\beta(\omega) = -\arg\{H(\omega)\} = \arg\{1 - \omega^2 LC + j\omega CR\} - \arg\{1 - \omega^2 LC\}$$

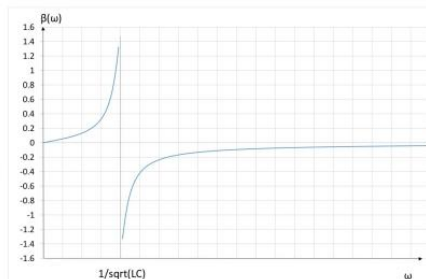
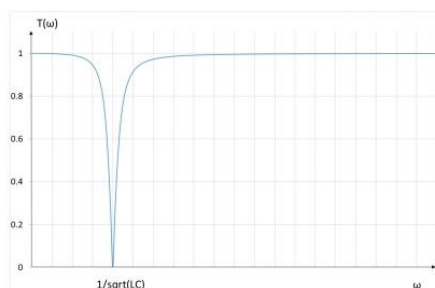
Prima di procedere conviene porre $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ (pulsazione di risonanza) e notare che sia il numeratore che il denominatore della funzione di trasferimento hanno parte reale positiva per $\omega \leq \omega_0$ negativa altrimenti. Gli argomenti assumo quindi due espressioni:

$$\arg\{1 - \omega^2 LC\} = \begin{cases} 0 & \omega \leq \omega_0 \\ \pi & \omega > \omega_0 \end{cases} \quad \arg\{1 - \omega^2 LC + j\omega CR\} = \begin{cases} \arctan\left(\frac{\omega CR}{1 - \omega^2 LC}\right) & \omega \leq \omega_0 \\ \arctan\left(\frac{\omega CR}{1 - \omega^2 LC}\right) + \pi & \omega > \omega_0 \end{cases}$$

L'espressione finale della caratteristica di fase è quindi: $\beta(\omega) = \arctan\left(\frac{\omega CR}{1 - \omega^2 LC}\right)$

Si noti che la discontinuità della fase avviene alla pulsazione di risonanza, ovvero nel punto di nullo della caratteristica di ampiezza, nel quale la fase è ovviamente non definita.

La rete si comporta come un filtro elimina-banda reale. \rightarrow NOTCH FILTER



11) Trasformata di Fourier $s(t) = x(t)\cos(\omega_0 t)$

Dato un segnale $x(t)$ dotato di trasformata $X(\omega)$, calcolare la trasformata $S(\omega)$ della funzione:

$$s(t) = x(t)\cos\omega_0 t \quad (2.68)$$

Si arriva facilmente al risultato esprimendo il coseno come somma di due esponenziali,

$\cos\omega_0 t = \frac{e^{j\omega_0 t} + e^{-j\omega_0 t}}{2}$, ed utilizzando questa formula per scrivere il segnale $s(t)$ come somma di due termini

$$s(t) = \frac{1}{2}x(t)e^{j\omega_0 t} + \frac{1}{2}x(t)e^{-j\omega_0 t} \quad (2.69)$$

Da qui applicando l'operatore di trasformazione ad entrambi i termini (la trasformata di Fourier è lineare, quindi la trasformata di una somma è la somma delle trasformate)

$$\begin{aligned} S(\omega) &= \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{j\omega_0 t} e^{-j\omega t} dt + \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j\omega_0 t} e^{-j\omega t} dt = \\ &= \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j(\omega-\omega_0)t} dt + \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j(\omega+\omega_0)t} dt = \\ &= \frac{1}{2} X(\omega-\omega_0) + \frac{1}{2} X(\omega+\omega_0) \end{aligned} \quad (2.70)$$

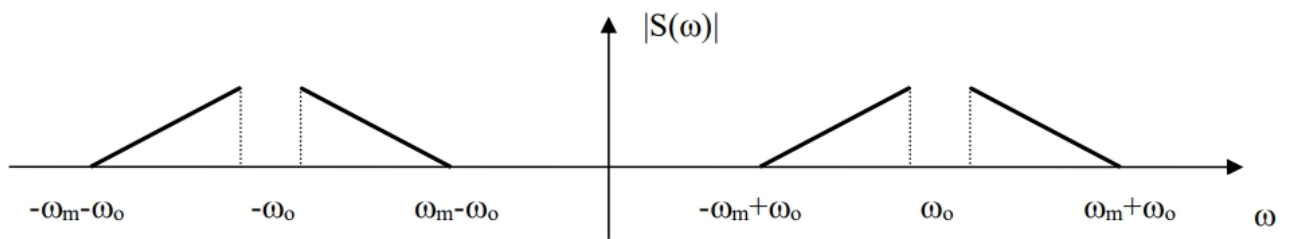


Fig.27 Spettro di ampiezza bilatero di $s(t)$.

La funzione $S(\omega)$, ricordando la trasformata di un impulso nei tempi vista in precedenza assume in questo caso l'espressione.

$$S(\omega) = \frac{1}{2} X(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} X(\omega + \omega_0) = \frac{I}{2} \text{sinc} \frac{(\omega - \omega_0)\tau}{2\pi} + \frac{I}{2} \text{sinc} \frac{(\omega + \omega_0)\tau}{2\pi} \quad (2.71)$$

12) DFT, Trasformata, Antitrasformata

DFT (Discrete Fourier Transform, trasformata di Fourier discreta) si applica non più a una serie di infiniti termini ma ad una n-pla, cioè ad un vettore, costituito in generale da componenti complesse, la DFT stabilisce una corrispondenza biunivoca fra n-ples di numeri: $(x_0, x_1, \dots, x_{N-1}) \leftrightarrow (X_0, X_1, \dots, X_{N-1})$

L'elemento q-esimo dell'n-pla di arrivo è definito come Formula di trasformazione:

$$X_q = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j(2\pi/N)nq}$$

La formula di Antitrasformazione, che ci restituisce un termine della n-pla iniziale:

$$x_n = 1/N \sum_{q=0}^{N-1} X_q e^{j(2\pi/N)nq}$$

Dimostrazione IDFT →

$$\frac{1}{N} \sum_{q=0}^{N-1} X_q e^{j \frac{2\pi}{N} nq} = \frac{1}{N} \sum_{q=0}^{N-1} \underbrace{\sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-j \frac{2\pi}{N} kq}}_{X_q} e^{j \frac{2\pi}{N} nq} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_k \underbrace{\sum_{q=0}^{N-1} e^{j \frac{2\pi}{N} q(n-k)}}_{\text{Esaminiamo separatamente la seconda sommatoria:}}$$

Esaminiamo separatamente la seconda sommatoria:

$$\sum_{q=0}^{N-1} e^{j \frac{2\pi}{N} q(n-k)} = \sum_{q=0}^{N-1} \left(e^{j \frac{2\pi}{N} (n-k)} \right)^q$$

Essa può essere vista come la somma parziale di una serie geometrica, di ragione x .
Dall'analisi sappiamo che:

$$\sum_{n=0}^{N-1} x^n = \begin{cases} \frac{1-x^N}{1-x} & x \neq 1 \\ N & x = 1 \end{cases}$$

Applicando alla nostra serie troncata:

$$\sum_{q=0}^{N-1} \left(e^{j \frac{2\pi}{N} (n-k)} \right)^q = \begin{cases} \frac{1 - e^{j 2\pi (n-k)}}{1 - e^{j \frac{2\pi}{N} (n-k)}} = 0 & n \neq k \\ N & n = k \end{cases}$$

Sostituendo, si ottiene infine:

$$\frac{1}{N} \sum_{q=0}^{N-1} X_q e^{j \frac{2\pi}{N} nq} = \frac{1}{N} N x_n = x_n$$

13) Involuppo complesso modulazione QAM

L'involuppo complesso in una modulazione QAM (Quadrature Amplitude Modulation) è la somma dei due involuppi complessi (indipendenti!): $i(t) = x_1(t) + jx_2(t) = \text{Re}\{(x_1(t) + jx_2(t))(\cos\omega_0 t + j\sin\omega_0 t)\}$

La modulazione è ibrida, infatti, $i(t)$ varia in base all'argomento. $s(t) = x_1(t)\cos\omega_0 t - x_2(t)\sin\omega_0 t$

L'efficienza è doppia rispetto all'AM: $n_f = 2B_x/B_s = 2\omega_m/2\omega_m = 1$.

14) Sviluppo in serie di Fourier, condizioni di convergenza + forme di convergenza

Esistono più forme di convergenza:

TIPI DI CONVERGENZA → CONDIZIONI DI CONVERGENZA DI DIRICHLET (PAG. 43)

PUNTUALE

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \left\{ x(t) - \sum_{n=-N}^N c_n e^{jn\omega_0 t} \right\} = 0$$

MEDIA QUADRATICA

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \int_0^T \left| x(t) - \sum_{n=-N}^N c_n e^{jn\omega_0 t} \right|^2 dt = 0$$

- Convergenza di Dirichelet:

- 1) $x(t)$ è assolutamente integrabile, cioè $\int |x(t)| dt < \infty$ (integrale tra 0 e T);
- 2) Il numero di massimi e minimi di $x(t)$ (o meglio della parte reale e della parte immaginaria se $x(t)$ è complesso) in un periodo è finito;
- 3) Il segnale $x(t)$ è continuo o al più presenta un numero finito di discontinuità di prima specie (cioè il limite sinistro e quello destro sono ovviamente diversi nel punto di discontinuità, ma entrambi finiti)

Allora la serie di Fourier converge in modo puntuale a $x(t)$ dove $x(t)$ è continuo, a $(x(t^+) + x(t^-))/2$ nei punti di discontinuità di prima specie.

15) Dove viene utilizzato il PAM?

PAM (Pulse Amplitude Modulation) è una successione di impulsi rettangolari con durata costante ed ampiezze variabili. Il segnale PAM può essere visto come convoluzione fra una serie temporale $\{x_n\}$ e l'impulso ad energia finita $g(t) \rightarrow s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n g(t - nT) = \{x_n\} * g(t)$

Che avrà come trasformata: $Y(\omega) = X_s(\omega)G(\omega) = 1/T \sum_{k=-\infty}^{\infty} X(\omega + k\omega_0)G(\omega)$

Con $G(\omega) = \tau(\sin(\omega\tau/2)/\omega\tau/2)e^{-j(\omega\tau/2)}$

Utilizzi:

- In origine veniva usato per la conversione A/D PCM (Pulse Code Modulation). Il segnale binario rappresentava l'alternativa in codice, al segnale PAM che si può ottenere dalla convoluzione tra $\{q_n\}$ e $g(t)$ dove $\{q_n\}$ sono i valori quantizzati al campionamento del segnale.
- Si può usare per ricostruire un segnale:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n g(t - nT) = \{x_n\} * g(t)$$

$$Y(\omega) = X_s(\omega)G(\omega) = 1/T \sum_{k=-\infty}^{\infty} X(\omega + k\omega_0)G(\omega)$$

In assenza di aliasing, possiamo isolare il termine centrale tramite filtro passa-basso.

- Viene utilizzato nei segnali PAM aleatori
- Viene anche utilizzato nelle codifiche multilivello

16) Codifica Multilivello

La codifica multilivello è un'estensione della codifica bipolare, nella quale viene emesso un simbolo ogni l bit, lo scopo è di ridurre la frequenza del simbolo.

$$T = lT_b \quad f_s = 1/T = f_b/l$$

I simboli possono assumere i seguenti $L = 2^l$ valori: $a^i = \pm 1, \pm 3, \dots, \pm(L-1)$

- Il caso bipolare è un caso particolare di codifica multilivello ($L = 2$)
- Numeri dispari per avere la stessa distanza (2) dal valore successivo
- Convienne mappare gruppi di l bit in un simbolo adottando una codifica di Gray

l -pla	Simbolo
000	+7
001	+5
011	+3
010	+1
110	-1
111	-3
101	-5
100	-7

↑
cod. input uscita

Nella codifica multilivello i simboli a_n sono indipendenti ed equiprobabili, ottenuti da gruppi di l bit distinti (senza bit in comune). Il valore medio è quindi nullo mentre la funzione di autocorrelazione statistica è data da:

$$c_{stat,k} = \begin{cases} E[a_n^2] = \frac{L^2-1}{3} & k=0 \\ E[a_n]E[a_n] = 0 & k \neq 0 \end{cases}$$

17) Rete CL: funzione di trasferimento, caratteristica di ampiezza e fase

20) RETE CL, $H(\omega)$, $T(\omega)$, $\beta(\omega)$

$H(\omega) = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{j\omega L}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega^2 LC}{1 - \omega^2 LC}$

$H(\omega) = \frac{-\omega^2 LC}{1 - \omega^2 LC}$ Funzione di trasferimento

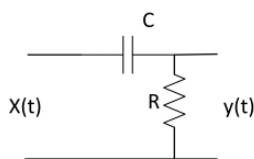
$T(\omega) = |H(\omega)| = \left| \frac{-\omega^2 LC}{1 - \omega^2 LC} \right| = \frac{\omega^2 LC}{\sqrt{(1 - \omega^2 LC)^2}}$

$\beta(\omega) = -\arg\{H(\omega)\} =$

$1 - \omega^2 LC < 0 \Rightarrow \frac{1}{LC} < \omega^2 =$

$\arg\{H(\omega)\} = \begin{cases} \arctan(0) = 0 & \omega > LC \\ -\pi & \omega < LC \end{cases}$

18) Rete lineare CR

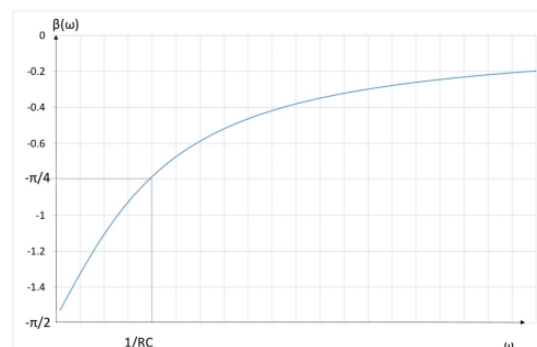
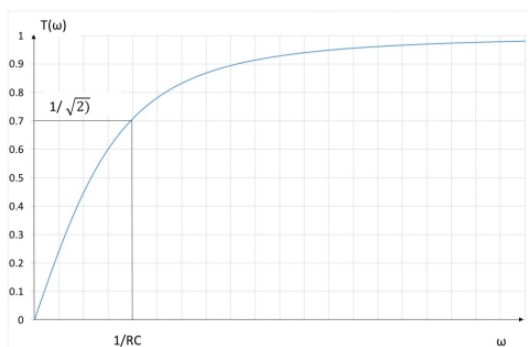


$$H(\omega) = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega CR}{1 + j\omega CR}$$

Ampiezza: $T(\omega) = |H(\omega)| = \frac{|j\omega CR|}{|1 + j\omega CR|} = \frac{\omega CR}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}$

Fase: $\beta(\omega) = -\arg\{H(\omega)\} = \arg\{1 + j\omega CR\} - \arg\{j\omega CR\} = \arctan(\omega CR) - \frac{\pi}{2}$

La rete si comporta come un filtro passa-alto non ideale. La pulsazione di taglio è: $\omega_t = \frac{1}{RC}$



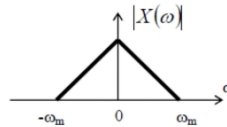
19) Campionamento tramite Shannon

Si vuole passare da $X_s(\omega)$ a $X(\omega)$ per poter risalire a $x(t)$ antitrasformando. Dall'enunciato del teorema di Shannon so che dato un segnale passa-basso, la condizione sufficiente affinché la conoscenza dei campioni sia

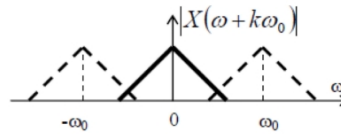
equivalente alla conoscenza del segnale campionato $x(t)$ è che la frequenza di campionamento sia maggiore del doppio della massima frequenza di $x(t)$: $\omega_0 > 2\omega_m$

DIMOSTRAZIONE GRAFICA

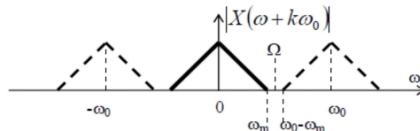
Modulo della trasformata del segnale passa-basso considerato. \rightarrow



Moduli della trasformata del segnale passa-basso considerato. \rightarrow
Aliasing nelle frequenze.



Moduli della trasformata del segnale passa-basso considerato. \rightarrow
Assenza di aliasing.
 $\omega_0 > 2\omega_m$



Sotto la condizione sufficiente del teorema di Shannon, la conoscenza dei campioni equivale alla conoscenza della funzione campionata. Lo sviluppo in serie ci permette di esprimere analiticamente $x(t)$ in funzione dei suoi valori campionati $x(nT)$. A tal fine, ricordando che la trasformata della serie equivale alla ripetizione periodica della trasformata del segnale, a meno di una costante moltiplicativa, e scegliendo la frequenza di Nyquist, per isolare il termine centrale della ripetizione, abbiamo:

$$X(\omega) = \begin{cases} TX_s(\omega) & |\omega| < \omega_0/2 \\ 0 & \text{ALTROVE} \end{cases}$$

L'espressione sopra deve essere inserita nella formula di antitrasformazione del segnale $x(t)$:

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega) e^{j\omega t} d\omega = \frac{T}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{T}}^{+\frac{\pi}{T}} X_s(\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

Ricordando la definizione di trasformata di Fourier di una serie, sostituendo, e scambiando l'ordine di serie ed integrale, si ottiene:

$$x(t) = \frac{T}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n \int_{-\frac{\pi}{T}}^{+\frac{\pi}{T}} e^{j\omega t} e^{-jn\omega T} d\omega$$

Con semplici passaggi si arriva allo sviluppo in serie di Shannon:

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n \frac{\sin \frac{\pi}{T} (t - nT)}{\frac{\pi}{T} (t - nT)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n \operatorname{sinc} \left(\frac{t - nT}{T} \right)$$

20) Trasformata di una esponenziale bilatera

$$x(t) = A e^{-\frac{|t|}{t_0}} \quad t_0 > 0$$

Si tratta di una funzione reale pari, questa volta continua nei valori, tempo-continua di tipo aperiodico.

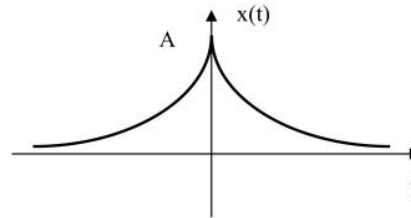


Fig.19 Esponenziale bilatera.

$$\begin{aligned} X(\omega) &= \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt = A \int_{-\infty}^0 e^{t/t_0} e^{-j\omega t} dt + A \int_0^{+\infty} e^{-t/t_0} e^{-j\omega t} dt = \\ &= A \int_{-\infty}^0 e^{t(1/t_0 - j\omega)} dt + A \int_0^{+\infty} e^{t(-1/t_0 - j\omega)} dt = \\ &= A \left[\frac{e^{t(1/t_0 - j\omega)}}{1/t_0 - j\omega} \right]_{-\infty}^0 + A \left[\frac{e^{t(-1/t_0 - j\omega)}}{-1/t_0 - j\omega} \right]_0^{\infty} = \frac{A t_0}{1 - j\omega t_0} + \frac{A t_0}{1 + j\omega t_0} = \\ &= \frac{2 A t_0}{1 + \omega^2 t_0^2} \end{aligned}$$

RISULTATO UTILE
PER IL PROSSIMO
ESERCIZIO

21) Se ho un filtro ideale passa-basso con banda 0-4 kHz e ho in ingresso un segnale di 10 kHz, l'uscita è distorta?

Il filtro passa-basso attenua le frequenze superiori a 4 kHz e trovandosi il segnale fuori dalla banda passante del filtro l'uscita sarà distorta, sarà una distorsione totale poiché il segnale a 10 kHz verrà completamente soppresso dal filtro.

22) Trasformata e antitrasformata di una serie

Le funzioni tempo discrete sono anche chiamate serie temporali (se formate da un numero infinito di termini). Esse possono rappresentare segnali che hanno già origine in tale forma oppure essere ottenute da una funzione tempo continua mediante lettura dei valori da essa assunti in istanti che si succedono con un intervallo T. Questa operazione è detta campionamento e la corrispondente funzione tempo discreta è anche chiamata funzione campionata. Consideriamo ora la serie temporale:

$$\{x_n\} = \{\dots, x_{-2}, x_{-1}, x_0, x_1, x_2, \dots\}$$

Si può definire la trasformata di Fourier della serie temporale mediante la seguente relazione:

$$X_s(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n e^{-jn\omega T}$$

La formula di antitrasformazione, che dalla trasformata $X_s(\omega)$ permette di ritornare agli elementi x_n della serie è la seguente:

$$x_n = \frac{T}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{T}}^{+\frac{\pi}{T}} X_s(\omega) e^{jn\omega T} d\omega \quad n = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$$

La trasformata di una serie è una funzione periodica con periodo $\omega_p = 2\pi/T$

$$X_s(\omega) = X_s(\omega + \omega_p)$$

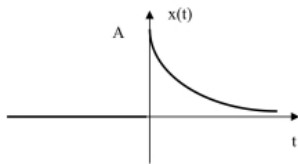
Essa può essere espressa mediante uno sviluppo in serie di Fourier di tipo esponenziale. A tale scopo occorre prestare massima attenzione al significato dei simboli, in quanto la funzione periodica è in ω e non in T .

$$X_s(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{+jn\frac{2\pi}{\omega_p}\omega} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{+jn\frac{2\pi}{T}\omega} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{+jn\omega T}$$

$$c_n = \frac{1}{\omega_p} \int_{-\frac{\omega_p}{2}}^{+\frac{\omega_p}{2}} X_s(\omega) e^{-jn\frac{2\pi}{\omega_p}\omega} d\omega = \frac{T}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{T}}^{+\frac{\pi}{T}} X_s(\omega) e^{-jn\omega T} d\omega$$

Confrontando lo sviluppo in serie con la definizione di trasformata, si ottiene la seguente relazione, che dimostra la formula di antitrasformazione: $x_n = c_{-n}$.

23) Energia di un segnale esponenziale monolatero

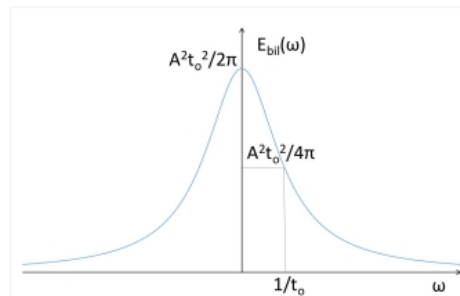


$$x(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ Ae^{-\frac{t}{t_0}} & t \geq 0 \end{cases} \quad t_0 > 0$$

$$E = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt = A^2 \int_0^{+\infty} e^{-2t/t_0} dt = A^2 \left[\frac{e^{-2t/t_0}}{-2/t_0} \right]_0^{+\infty} = \frac{A^2 t_0}{2} \rightarrow \text{ricordando la trasformata di } x(t): X(\omega) = \frac{A t_0}{1 + j\omega t_0}$$

$$E_{\text{bil}}(\omega) = \frac{|X(\omega)|^2}{2\pi} = \frac{A^2 t_0^2}{2\pi} \frac{1}{1 + \omega^2 t_0^2} \rightarrow$$

Densità spettrale di energia



24) Trasformata di un esponenziale monolatero: spettro di ampiezza e fase

$$x(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ Ae^{-\frac{t}{t_0}} & t \geq 0 \end{cases} \quad t_0 > 0$$

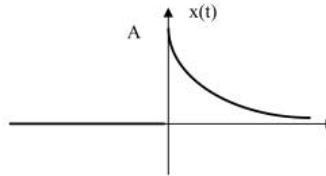


Fig.21 Esponenziale monolatera.

Il calcolo della trasformata è immediato in quanto l'espressione della trasformata coincide con il primo dei due integrali dell'esercizio precedente, quindi basta richiamare il risultato ottenuto.

$X(\omega)$ RISULTA COMPLESSO, PERCHÉ $x(t)$ È REALE MA NON È PARI.

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt = A \int_0^{+\infty} e^{-t/t_0} e^{-j\omega t} dt = \frac{A t_0}{1 + j\omega t_0}$$

SPETTRO DI AMPIEZZA MONOLATERO:

$$V(\omega) = \frac{|X(\omega)|}{\pi} = \frac{A t_0}{\pi} \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 t_0^2}} \quad \omega \geq 0$$

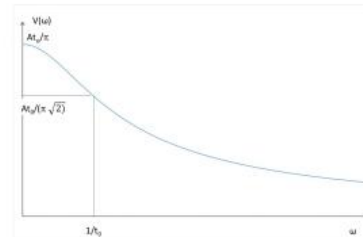
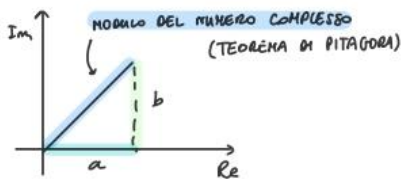


Fig.22 Spettro (densità spettrale) di ampiezza dell'esponenziale monolatera.



SPETTRO DI FASE MONOLATERO:

$$\begin{aligned} \varphi(\omega) &= -\arg\{X(\omega)\} = -(0 - \arctg \omega t_0) \\ &= \arctg \omega t_0 \end{aligned}$$

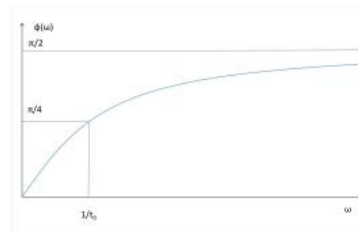


Fig.23 Spettro di fase dell'esponenziale monolatera.

25) Trasformata della delta di Dirac

La delta di Dirac è una distribuzione che data una funzione $x(t)$ continua in $t = 0$ (funzione di prova) associa ad essa il valore $x(0)$, ovvero campiona la funzione $x(t)$ nell'origine:

$\langle x, \delta \rangle = x(0)$ e analogamente si può definire la distribuzione δ_0

$\langle x, \delta_0 \rangle = x(t_0)$

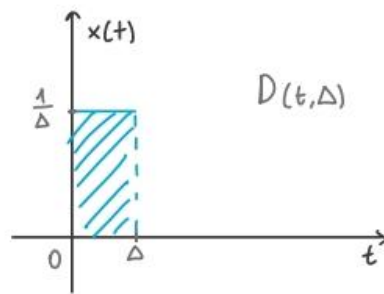
Il valore $x(0)$ di una funzione $x(t)$ continua nell'origine può essere ricavato anche facendo ricorso a famiglie di funzioni ausiliarie $f_\Delta(t)$ per le quali vale:

$$x(0) = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) f_\Delta(t) dt$$

La trasformata di Fourier della delta di Dirac è:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) e^{-j\omega t} dt = 1$$

Dall'espressione deriva che la trasformata di una delta nell'origine dei tempi corrisponde ad una costante nel dominio delle frequenze.



Dimostrazione:

Immediata dalla definizione di distribuzione, in quanto la funzione esponenziale campionata nell'origine vale 1.

Verifica

Si noti, come verifica, che lo stesso risultato poteva essere ottenuto utilizzando la funzione ausiliaria $D(t, \Delta)$. Ricordando che

$$F[D(t, \Delta)] = \frac{\sin \frac{\omega \Delta}{2}}{\frac{\omega \Delta}{2}} e^{-j \frac{\omega \Delta}{2}}$$

$$\text{Si ha} \rightarrow \lim_{\Delta \rightarrow 0} \int_{-\infty}^{+\infty} D(t, \Delta) e^{-j\omega t} dt = \lim_{\Delta \rightarrow 0} F[D(t, \Delta)] = 1$$

26) Risposta impulsiva rete causale $h(t)$

Per un sistema causale, la condizione necessaria per la fisica realizzabilità è che:

$$h(t) = 0 \text{ per } t < 0$$

Cioè che ad un determinato istante l'uscita dipenda dai valori passati e da quello attuale dell'ingresso, ma non dai valori futuri. Se così non fosse il sistema sarebbe anticipativo, ovvero inizierebbe a rispondere prima di essere sollecitato.

27) Trasformata di un segnale moltiplicato per una sinusoide

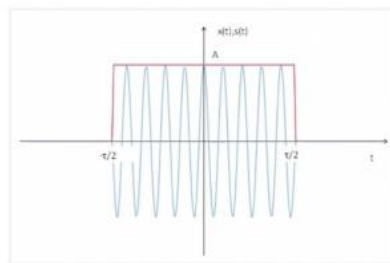
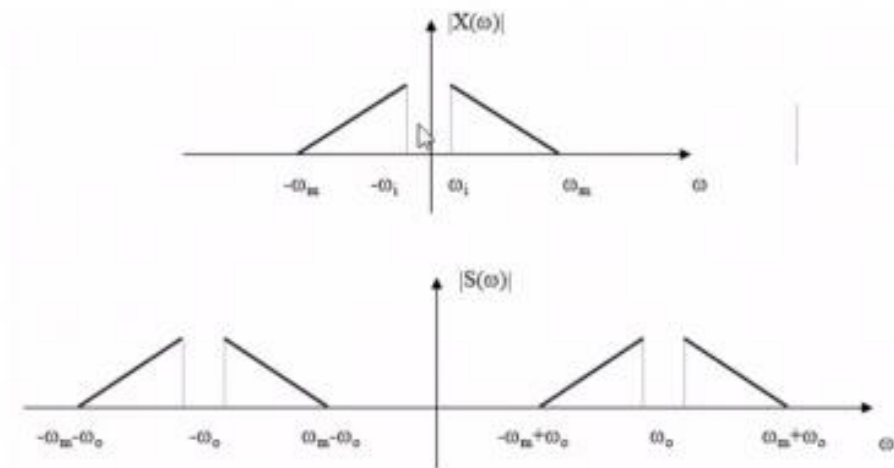
$$s(t) = x(t) \cos \omega_0 t$$

Si esprime il coseno come somma di due esponenziali complessi coniugati

$$s(t) = \frac{1}{2} x(t) e^{j\omega_0 t} + \frac{1}{2} x(t) e^{-j\omega_0 t}$$

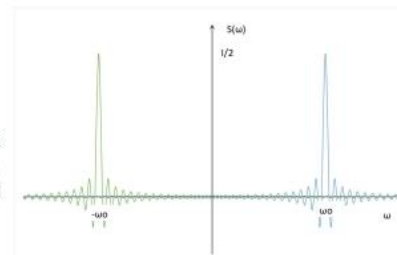
Quindi si ottiene la trasformata con semplici passaggi

$$\begin{aligned} S(\omega) &= \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{j\omega_0 t} e^{-j\omega t} dt + \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j\omega_0 t} e^{-j\omega t} dt = \\ &= \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j(\omega - \omega_0)t} dt + \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j(\omega + \omega_0)t} dt = \\ &= \frac{1}{2} X(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} X(\omega + \omega_0) \end{aligned}$$



→ CASO PARTICOLARE, TRONCO DI SINUSOIDE

$$\begin{aligned} S(\omega) &= \frac{1}{2} X(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} X(\omega + \omega_0) = \\ &= \frac{\tau}{2} \operatorname{sinc} \frac{(\omega - \omega_0)\tau}{2\pi} + \frac{\tau}{2} \operatorname{sinc} \frac{(\omega + \omega_0)\tau}{2\pi} \end{aligned}$$



Un tronco di senoide non è una senoide!

La sua trasformata sul lato positivo è data da sinc centrato sulla frequenza della senoide. Maggiore la durata della finestra, più stretto il sinc (più simile alla riga della senoide).

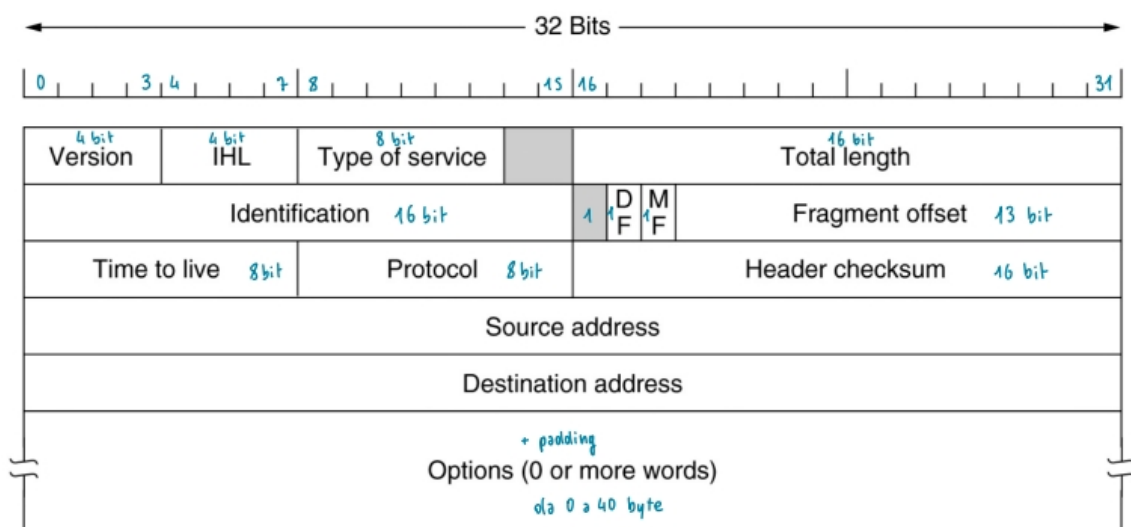
IPv4 e IPv6 sono due protocolli che operano nel network layer, l'identificatore usato nel livello IP del protocollo TCP/IP per identificare ogni dispositivo connesso ad Internet si chiama indirizzo IP. Ecco le principali differenze tra i due protocolli:

1) Lunghezza dell'indirizzo:

Gli indirizzi IPv4 utilizzano 32 bit, composti di una parte di rete di lunghezza variabile nei primi bit e di una parte per l'host negli ultimi. Sono rappresentati da 4 numeri decimali separati da punti compresi tra 0 e 255 (es. 192.168.0.1). I prefissi sono scritti dando l'indirizzo IP più basso del blocco e la grandezza del blocco. La dimensione è determinata dai numeri di bit nella porzione di rete, i bit rimanenti nella parte dedicata all'host possono variare, ciò significa che la dimensione deve essere una potenza di due. A volte i prefissi sono descritti semplicemente dalla loro lunghezza, come in "/16". La lunghezza del prefisso corrisponde a una maschera binaria di 1 nella parte di rete, quando è scritta in questo modo è chiamata subnet mask. Gli indirizzi IPv6, invece, utilizzano 128 bit e sono rappresentati da 8 gruppi di 4 cifre esadecimali, separati da ":".

2) Struttura dei datagrammi:

Un datagramma è l'unità fondamentale di dati trasmessi nel network layer, un datagramma IPv4 è costituito da una parte di intestazione e da un corpo (il payload). L'intestazione ha una parte fissa di 20 byte e una parte opzionale di lunghezza variabile. Il campo *Version* tiene traccia della versione del protocollo usato per il datagramma, il campo *IHL* indica la lunghezza dell'intestazione (poiché essa è variabile), il campo **Type of Service** indica la classe di servizio di appartenenza del pacchetto. *Total length* tiene conto di tutto il contenuto del datagramma, intestazione e dati con lunghezza max di 65.535 byte. *Identification* serve all'host di destinazione per determinare a quale datagramma appartiene il frammento appena arrivato. C'è poi un bit inutilizzato, utile per rilevare il traffico dannoso e due campi di 1 bit *DF* "don't fragment" e *MF* "more fragments". *Fragment offset* indica la posizione del frammento nel datagramma corrente, il campo *Time to live* è un contatore utilizzato per limitare la vita di un pacchetto, il campo *Protocol* indica quale processo di trasporto è in attesa di quei dati e il campo *Header Checksum* protegge l'intestazione e il datagramma intero. *Source address* e *Destination address* sono gli indirizzi di sorgente e destinazione e infine il campo *Options* contiene opzioni di lunghezza variabile, alcune seguite da un campo *Option length* di 1 byte che precedete uno o più byte di dati, in origine erano definite cinque opzioni: Security, Strict source routing, Loose source routing, Record route, Timestamp.



In IPv6 questi campi sono differenti, è presente il campo *Traffic class* che è usato per distinguere le classi di servizio dei pacchetti con differenti richieste di consegna in tempo reale, il campo *Flow label* consente a una sorgente e a una destinazione di marcare un gruppo di pacchetti che, avendo gli stessi requisiti, devono essere trattati allo stesso modo, formando una pseudoconnessione. Il campo *Payload length* indica il numero di byte che segue l'intestazione di 40 byte, il campo *Total length* di IPv4 è stato abbandonato perché il significato è leggermente cambiato: i 40 byte di intestazione non sono più conteggiati nel calcolo della lunghezza. Questo

cambiamento implica che il payload ora possa essere di 65.535 byte invece che di 65.515 byte. Il campo *Next header* indica quale delle sei intestazioni estese segue l'intestazione corrente, il campo *Hop limit* è utilizzato per impedire ai pacchetti di vivere per sempre, un po' come il *Time to live* di IPv4. Quindi notiamo che il campo *IHL* è stato tolto, poiché l'intestazione IPv6 ha una lunghezza fissa, il campo *Protocol* è stato tolto perché il campo *Next header* indica che cosa c'è dopo l'ultima intestazione IP. Tutti i campi che riguardano la frammentazione sono stati rimossi poiché IPv6 gestisce la frammentazione in modo diverso, quando un host invia un pacchetto IPv6 che è troppo grande il router che non è in grado di inoltrarlo restituisce un messaggio di errore invece di frammentarlo indicando all'host di suddividere i pacchetti nella dimensione corretta. Infine, il campo *Checksum* è stato eliminato poiché l'elaborazione di questa informazione riduce enormemente le prestazioni.



29) Timer nel TCP

Nel TCP (Transmission Control Protocol), i timer svolgono un ruolo cruciale per garantire l'affidabilità dei dati, il controllo di flusso e quello di congestione. Ecco i timer principali presenti nel protocollo TCP/IP:

1) Retransmission Timer (RTO – Retransmission timeout):

L'RTO gestisce la ritrasmissione dei segmenti TCP non ricevuti o persi, quando viene inviato un segmento TCP il timer si avvia e se al suo termine il mittente non ha ancora ricevuto un ACK (Acknowledgement) allora il segmento viene ritrasmesso.

2) Keepalive Timer:

Il Keepalive timer verifica se una connessione TCP inattiva è ancora viva, se una connessione rimane inattiva per lungo periodo il timer Keepalive invia periodicamente dei pacchetti per verificare se il peer è ancora attivo. Se non viene ricevuta risposta dopo un tot di tentativi la connessione viene interrotta e chiusa.

3) Delay ACK Timer:

Il Delay ACK Timer ritarda l'invio degli ACK per migliorare l'efficienza, quando il TCP riceve un segmento può ritardare l'invio dell'ACK (200 ms), nella speranza di poter combinare l'ACK con i dati da inviare riducendo così il numero di pacchetti inviati.

4) TIME-WAIT Timer:

Il TIME-WAIT Timer si assicura che tutti i segmenti ritardati nella rete siano scartati prima che la connessione sia completamente chiusa. Quando una connessione viene chiusa, entra nello stato TIME-WAIT, serve a non far interpretare segmenti ritardati come porte di una nuova connessione.

5) FIN-WAIT Timer:

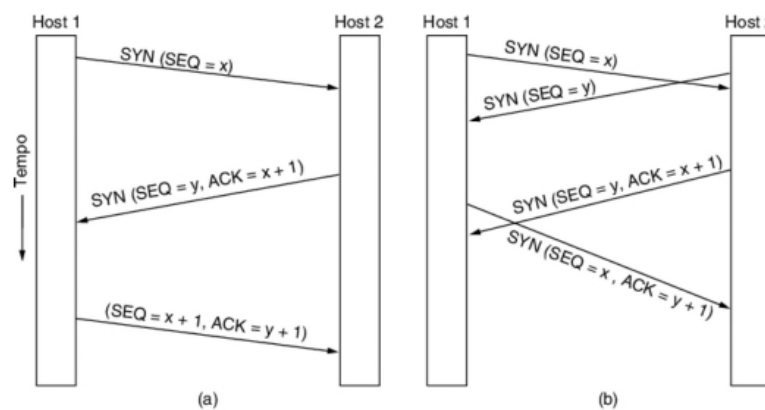
Il FIN-WAIT Timer assicura che la connessione chiusa dal peer sia completamente terminata. Quando TCP invia un segmento FIN si entra in FIN-WAIT, ci troviamo in questo stato finché non si riceve un FIN-ACK o scade il timer.

6) Persist Timer:

Serve ad evitare il deadlock, ovvero che entrambe le parti restino in attesa.

30) Come si instaura la connessione nel TCP?

La connessione TCP si instaura attraverso un processo chiamato “Three-Way Handshake”. Questo processo garantisce che entrambe le parti siano pronte a comunicare e che i parametri di connessione siano sincronizzati. Per stabilire una connessione, un lato (ad esempio il server) attende in modo passivo una connessione in ingresso eseguendo nell’ordine le primitive LISTEN e ACCEPT che possono indicare una sorgente specifica oppure nessuna in particolare. L’altro lato (il client) segue una primitiva CONNECT, specificando l’indirizzo IP e la porta a cui vuole connettersi, la dimensione massima del segmento TCP che è intenzionato ad accettare e, facoltativamente, alcuni dati utente. La primitiva CONNECT invia un segmento TCP con il bit SYN a 1 e il bit ACK a 0, poi attende una risposta. Quando questo segmento arriva a destinazione, l’entità TCP controlla se esiste un processo che ha eseguito una LISTEN sulla porta indicata nel campo Destination port e in caso negativo invia una risposta con il bit RST a 1 per rifiutare la connessione. Se un processo è in ascolto sulla porta, gli viene dato il segmento TCP in ingresso, quindi può accettare o rifiutare la connessione. Se accetta, viene restituito al mittente un segmento di acknowledgement. Si noti che un segmento SYN consuma un byte nello spazio delle sequenze, così da poter ricevere un acknowledgement non ambiguo.

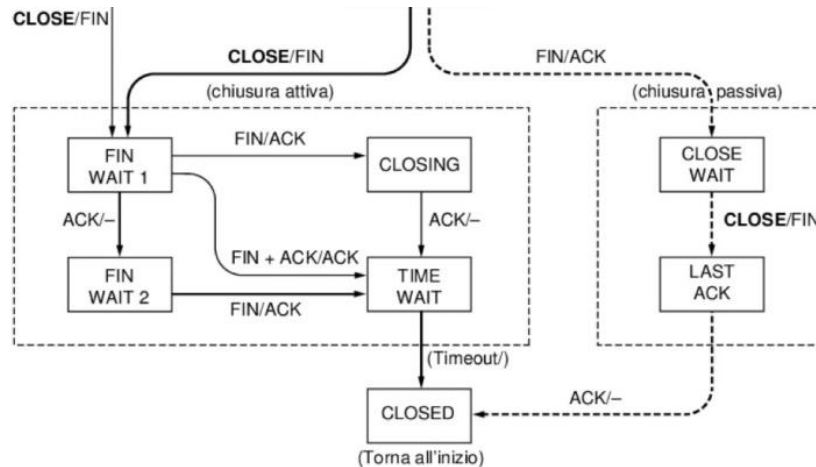


Nel caso che due host tentino contemporaneamente di stabilire una connessione tra le stesse due socket, il risultato di questi eventi è la costituzione di una sola connessione, non due, perché le connessioni sono identificate dai loro punti terminali. Se sia la prima attivazione che la seconda generano una connessione identificata da (x, y) viene creata comunque una sola voce nella tabella per (x, y) .

31) Chiusura della connessione nel TCP

La chiusura della connessione nel TCP avviene attraverso un processo chiamato “Four-Way Handshake”. Questo processo inizia con il client o il server che invia un segmento FIN per indicare all’altra parte che ha terminato l’invio di dati, l’altra parte invia un ACK per comunicare di aver ricevuto il FIN. La parte che ha inviato l’ACK invia a sua volta un segmento FIN per chiudere la connessione e la parte che ha inviato il FIN iniziale invia l’ultimo ACK. Stati della connessione durante la chiusura:

- **FIN_WAIT_1:** A invia il segmento FIN a B e ne attende l'ACK.
- **FIN_WAIT_2:** A riceve l'ACK di B e ne attende il FIN.
- **CLOSE_WAIT:** B riceve il FIN di A e invia il suo ACK. Può ancora inviare dati.
- **LAST_ACK:** B invia il FIN e attende l'ACK di A.
- **TIME_WAIT:** A riceve il FIN di B, invia l'ACK finale e aspetta un periodo durante il quale tutti i segmenti ritardati o duplicati vengono scartati.
- **CLOSED:** A e B chiudono la connessione.



32) Problema dell'accesso multiplo

L'accesso multiplo nelle reti si riferisce alla situazione in cui più dispositivi (nodi) tentano di utilizzare una risorsa di comunicazione condivisa, come un canale di trasmissione. Questo scenario può portare a problemi di accesso multiplo quali: congestione, interferenza e collisione.

Collisioni: Quando 2+ nodi trasmettono simultaneamente sulla stessa risorsa di comunicazione i loro segnali si sovrappongono, causando una collisione. I dati trasmessi vengono corrotti e devono essere ritrasmessi, causando ritardi e riducendo l'efficienza della rete.

Congestione: Si verifica quando troppi nodi cercano di usare lo stesso canale sovraccaricandolo. Aumentano i tempi di attesa, si perdono pacchetti si riduce la qualità del servizio.

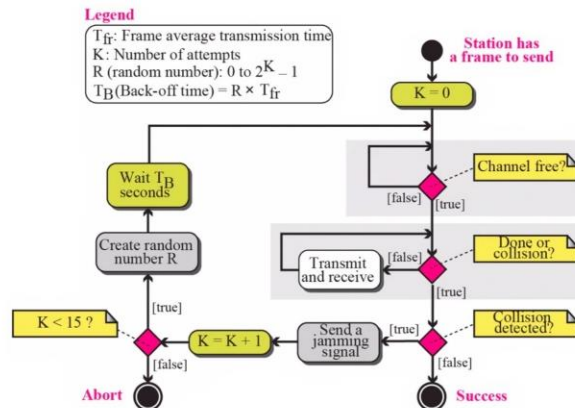
Interferenza: Quando i segnali di più nodi interferiscono tra loro, anche se non sono trasmessi esattamente nello stesso momento. Il segnale si degrada e aumentano gli errori di trasmissione.

Caso dell'HUB: In un HUB tutte le stazioni sono sullo stesso dominio di collisione quindi si deve utilizzare l'algoritmo CSMA/CD.

Per affrontare questi problemi sono stati sviluppati vari meccanismi di accesso multiplo:

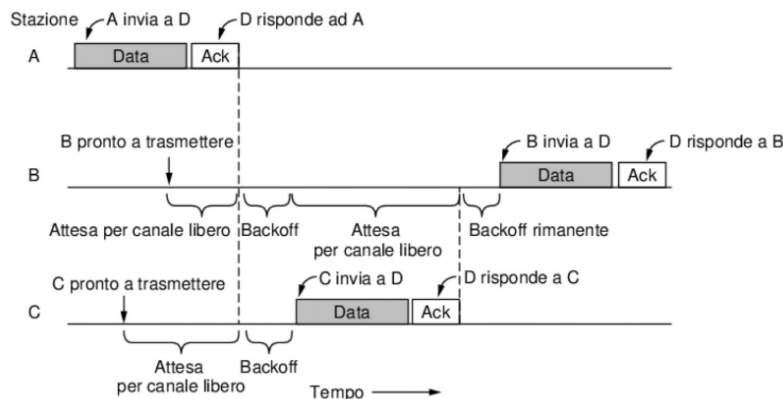
- **CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection):**

Si utilizza nelle reti Ethernet cablate. Prima di trasmettere, un nodo ascolta il canale per verificare che sia libero, se il canale è libero il nodo trasmette. Se rileva una collisione durante la trasmissione la interrompe, aspetta un intervallo di tempo casuale e riprova. Così si riducono e gestiscono le collisioni.



- CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance):

Si utilizza nelle reti wireless (802.11). Il nodo controlla che il canale sia libero, in caso affermativo non trasmette immediatamente ma fa un backoff casuale. Il nodo attende il tempo di backoff continuando a monitorare il canale, finito il tempo di backoff viene inviato al destinatario un pacchetto RTS (Request to Send) che comunica l'intenzione di trasmettere dati. Il destinatario risponde con un pacchetto CTS (Confirm to Send) che indica al mittente che il canale è libero e si possono trasmettere i dati. Durante la trasmissione gli altri nodi che hanno rilevato il CTS non trasmettono e attendono che si liberi il canale. A fine della trasmissione il destinatario manda un ACK al mittente, che ritrasmetterà nel caso non lo riceva e ciò sancirà la liberazione del canale, se ora un'altra sorgente vorrà trasmettere potrà cominciare dopo sempre un primo tempo di backoff casuale.



- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing):

Tecnica che permette a più utenti di utilizzare simultaneamente una banda di frequenza utilizzando diverse sottoportanti ortogonali. La banda è divisa in una serie di sottoportanti, ognuna usata per trasmettere dati ad uno o più utenti simultaneamente. Queste sottoportanti sono organizzate in modo tale che siano ortogonali tra loro, il che significa che non si sovrappongono e non si interferiscono reciprocamente.

33) Controllo congestione nel TCP

Quando il carico applicato ad una rete è troppo grande si crea una congestione. Il livello di rete individua una congestione quando le code ai router aumentano e si iniziano a scartare pacchetti. In TCP si utilizzano due finestre per gestire la congestione: la finestra di controllo di congestione e la finestra di controllo di flusso.

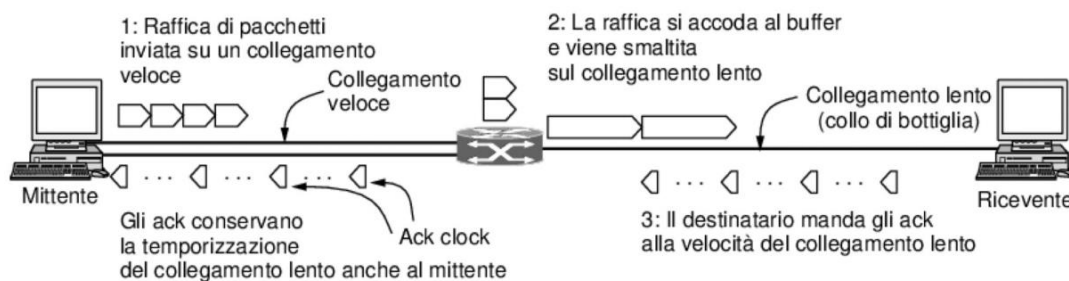
- Finestra di congestione:

La finestra di congestione ha una dimensione pari al numero di byte che il mittente può avere sulla rete in qualsiasi momento.

- *Finestra di flusso:*

La finestra di flusso specifica il numero di byte che il destinatario può ricevere nel buffer.

TCP smette di spedire dati se una delle due finestre è piena. TCP assume che i pacchetti siano persi sempre a causa della congestione, li può recuperare grazie ai timer, controllando ogni quanti byte ha ricevuto degli acknowledgement. Le tempistiche degli ACK rispecchiano i tempi impiegati dai pacchetti per attraversare il collegamento più lento, questa temporizzazione prende il nome di ACK clock (es. comunicazione tra un mittente a 1 Gbps e un ricevente a 1 Mbps).



Gli algoritmi utilizzati dal TCP sono:

1) SLOW-START:

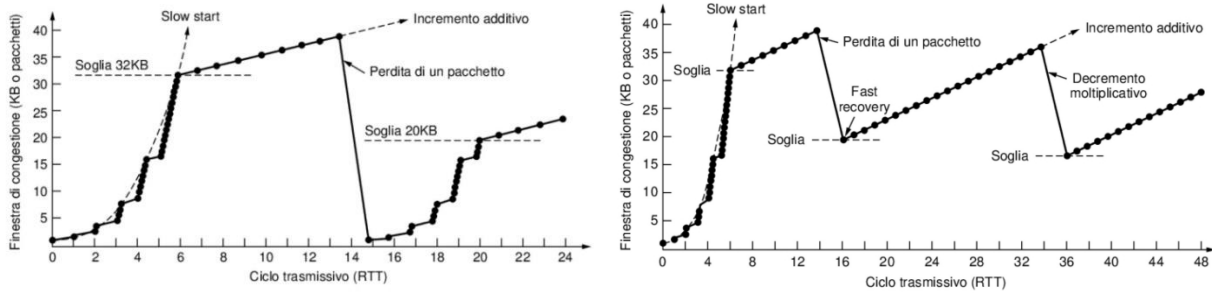
Quando viene stabilita una connessione o quando viene rilevata una perdita di dati il TCP entra in modalità "SLOW-START". Inizialmente la finestra di congestione (congestion window = "cwnd") viene impostato con un valore basso ($1/2$ MSS, Maximum Segment Size). Durante la fase di slow start la dimensione del cwnd cresce in modo esponenziale, ad ogni RTT (Round Trip Time) il cwnd viene raddoppiato. L'incremento del cwnd continua finché non si raggiunge il valore di soglia dinamica (SLOW-START Threshold), quando viene superata questa soglia si passa all'incremento additivo. In questa modalità si aumenta cwnd di un MSS ogni RTT. Dopo che viene perso un pacchetto il destinatario non può mandare un ACK per quelli successivi; quindi, il numero di ACK rimarrà fisso e il mittente non potrà spedire altri pacchetti sulla rete, perché è piena la finestra di congestione.

2) Fast retransmission:

Ricevuti 3 dup-ACK la rete assume di aver perso il pacchetto e quindi lo ritrasmette.

3) Fast recovery:

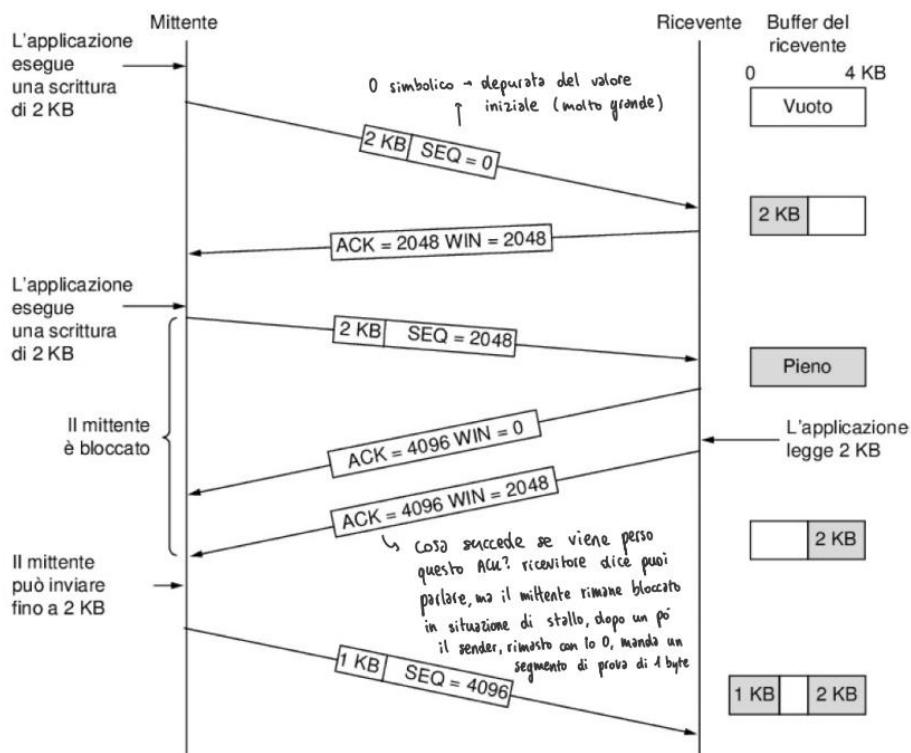
Per evitare lo slow start, il TCP dopo una fast retransmission entra in modalità fast recovery. In questa fase la SLOW-START Threshold viene ridotta a metà del valore di cwnd al momento della perdita del pacchetto, dopo che i pacchetti sono ritrasmessi e riconosciuti il TCP ritorna alla fase di evitamento della congestione. Il risultato di questo comportamento è che TCP evita lo slow start, tranne all'inizio della connessione e quando si verifica un timeout. Quest'ultimo può ancora verificarsi quando va perso più di un pacchetto e la ritrasmissione veloce non recupera adeguatamente. Invece di slow start multipli, la finestra di congestione della connessione in atto segue un profilo a dente di sega per gli incrementi additivi (di un segmento ogni RTT) e i decrementi moltiplicativi (di metà in un RTT).



Senza Fast Recovery / Con Fast Recovery

34) Controllo di flusso nel TCP

Il controllo di flusso è un feedback da parte del ricevente della sorgente utilizzato nell'eventualità per impedire che una sorgente veloce inondi di dati un ricevente lento. Il controllo di flusso in TCP è gestito tramite una finestra scorrevole di dimensione variabile, il campo *Window size* indica quanti byte possono essere inviati a partire da quello che ha ricevuto acknowledgement. Il TCP utilizza un protocollo a porte scorrevoli, ciò che il mittente può spedire dipende non solo dagli ACK ma anche dallo spazio disponibile nel buffer del destinatario (indicato da *Window size*). Quando la finestra ha dimensione 0 il mittente non può spedire dati ma può però inviare un segmento con dati urgenti per farm terminare il processo ad un'altra stazione. Può inoltre spedire un byte per far ripetere all'altra stazione il byte atteso, questo segmento sonda prende il nome di **Window probe** e viene mandato quando scade un apposito timer per evitare problemi nel caso sia segnalata una finestra di dimensione 0.



35) DTN, caratteristiche e differenze con TCP/IP

DTN (Delay/Disruption Tolerant Network) è una rete in cui i dati vengono immagazzinati nei nodi e vengono trasmessi al nodo successivo quando c'è un collegamento funzionante. L'architettura DTN si basa sull'introduzione dei Bundle, ovvero pacchetti che adoperano l'architettura STORE-AND-FORWARD cioè conservano i pacchetti e li trasmettono quando è possibile. I nodi DTN al contrario dei router Internet hanno

tempi di immagazzinamento molto lunghi (possono durare anche ora). Le DTN, perciò, vengono utilizzate per comunicazioni difficoltose come possono essere nello spazio con satelliti o navicelle o in territori che non hanno reti di comunicazione, magari colpiti da catastrofi come forti terremoti.

Le principali caratteristiche delle DTN sono:

1) Tolleranza ai ritardi e interruzioni:

Le DTN sono progettate per funzionare anche in casi di grandi ritardi e interruzioni frequenti, le DTN non necessitano di connessioni end-to-end stabili, possono infatti operare con connessioni intermittenti o in assenza di esse.

2) STORE-AND-FORWARD

3) Bundle Protocol

4) Resilienza agli errori:

Le DTN sono progettate per essere resilienti agli errori di trasmissione e alle perdite di pacchetti.

5) Infrastruttura eterogenea:

Le DTN possono operare su un'ampia gamma di tecnologie di comunicazione e tipologie di rete.

Le principali differenze con TCP/IP quindi sono:

- TCP/IP presuppone che ci sia una connessione end-to-end stabile e continua tra mittente e destinatario, le interruzioni possono portare a timeout e perdite di dati. In TCP si hanno timeout relativamente brevi che richiedono conferme rapide per i pacchetti inviati.
- DTN può lavorare in ambienti dove le connessioni sono instabili o assenti.
- TCP/IP i pacchetti vengono trasmessi direttamente da mittente a destinatario attraverso router, i pacchetti trasmessi richiedono sempre conferma tramite ACK.
- DTN usa la tecnica store-and-forward per cui i dati vengono immagazzinati in nodi intermedi finché non possono essere mandati al successivo nodo, la conferma attraverso gli ACK non è immediata come in TCP/IP ma ritardata.
- TCP fornisce un servizio di trasporto affidabile orientato alla connessione con controllo della congestione, controllo di flusso e ritrasmissione dei pacchetti persi.
- DTN adotta il Bundle Protocol, i bundle vengono memorizzati e trasmessi dai nodi, include inoltre istruzioni per la consegna in condizioni di reti non affidabili.
- TCP/IP ha meccanismi per gestire la perdita di pacchetti e le connessioni instabili, ma è meno efficace in ambienti con disconnessioni frequenti.
- DTN sono progettate per essere resilienti ad errori, disconnessioni, ritardi e perdite di pacchetti. Utilizzano ritrasmissioni robuste e memorizzazione dei dati per garantire l'affidabilità.
- TCP/IP sono usate in reti aziendali, locali o connesse ad Internet dove la connettività è robusta e continua.
- DTN sono usate nello spazio o in ambienti estremi.
- TCP/IP hanno un'architettura rigida ben definita dai livelli di rete.
- DTN hanno un'architettura flessibile che può integrare diversi tipi di rete e tecnologie di comunicazione.

36) 802.11 alternative all'accesso a contesa

L'accesso a contesa nelle reti Wi-Fi è il metodo principalmente utilizzato per la gestione dell'accesso sul canale di comunicazione, basato sull'algoritmo CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). Tuttavia, esistono numerose alternative come:

- Polling:

Metodo in cui un Access Point (AP) interroga i client uno ad uno, si elimina la contesa perché solo il client interrogato può trasmettere. Si riducono perciò le collisioni ma aumenta l'overhead.

- **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing):**

Utilizzato nelle reti Wi-Fi 802.11ax, divide il canale in sottoportanti più piccole ortogonali fra loro e le assegna ai client. Aumenta l'efficienza spettrale, riduce la latenza e migliora il throughput in ambienti ad alta densità.

- **EDCA (Enhanced Distributed Channel Access):**

Assegna diverse bande in frequenza ai dispositivi per trasmettere dati, riducendo la contesa per lo stesso canale. Riduce le collisioni e migliora le prestazioni in reti dense.

37) Ethernet: problemi di accesso multiplo, cavo coassiale / switch

L'accesso multiplo nelle reti Ethernet (IEEE 802.3) è una caratteristica fondamentale, ma che può creare numerosi problemi come le collisioni, che avvengono quando due o più dispositivi tentano di trasmettere contemporaneamente. Per evitare questo problema Ethernet utilizza l'algoritmo CSMA/CD (Collision Detection) che ascolta il canale prima di trasmettere per assicurarsi che sia libero, se rileva una collisione durante la trasmissione la interrompe per ritrasmettere poi il pacchetto perso dopo un certo periodo di tempo. Questo provoca però ritrasmissioni frequenti, riduzione del throughput e aumento di latenza. Questo problema è stato ridotto con l'ausilio di switch-Ethernet che frammentano le reti in collision domains più piccoli, limitando le collisioni ai soli frammenti. Per migliorare l'efficienza delle reti e diminuire la latenza dovuta al CSMA/CD si utilizzano reti full-duplex dotate di switch, le reti full-duplex consentono la trasmissione in entrambe le direzioni contemporaneamente facendo sì che i dati possano essere trasmessi e ricevuti simultaneamente. Gli switch mantengono tabelle con indirizzi MAC per inoltrare i pacchetti in modo estremamente preciso. Gli HUB creano il problema di avere un unico dominio di collisioni, ciò viene risolto con l'ausilio dello switch che frammenta il dominio in più segmenti. In precedenza, per le reti Ethernet venivano utilizzati cavi coassiali che garantivano numerosi vantaggi come:

- Alte capacità di trasmissione di dati ad alta velocità.
- Resistenza alle interferenze elettromagnetiche e alle perdite di segnali.
- Affidabili (robusti e durevoli).

Adesso con l'avanzare delle tecnologie sono stati nell'Ethernet sostituiti da cavi UTP e fibre ottiche.

38) 802.11, comunicazione fra due stazioni dietro a un Access Point (AP)

La comunicazione tra due client all'interno di una rete Wi-Fi che utilizza l'Access Point avviene tramite una serie di passaggi coordinati. L'AP funge da intermediario tra i due client che si associano all'Access Point, il quale riceve pacchetti e li spedisce dai client per i client. I client acquisiscono i loro indirizzi IP, l'AP salva gli indirizzi MAC dei client in una tabella così da poter instradare correttamente i dati.

Inizio della comunicazione:

A vuole inviare un pacchetto a B. A e B sono entrambi client. A manda il pacchetto all'AP nel quale è contenuto anche l'indirizzo MAC di B. AP inoltra il pacchetto a B. B risponde con un acknowledgement (ACK) per confermare l'arrivo del pacchetto. Per ridurre le collisioni si possono usare i meccanismi CSMA/CA o RTS e CTS. Prendendo quest'ultimo come esempio si suppone che A, il quale vuole mandare un messaggio a B, tramite l'ausilio dell'AP, invia un RTS (Request to Send) per sapere se la comunicazione è libera o meno. Nel caso il canale sia libero B invia indietro ad A un CTS (Clear to Send) così che A sia sicuro di poter inviare pacchetti senza rischiare collisioni.

39) Wireshark, inizio connessione TCP

Wireshark è un potente strumento di analisi del traffico di rete che consente agli utenti di catturare e ispezionare pacchetti di dati che attraversano la rete. È utilizzato per ispezionare problemi di rete, analizzare il comportamento delle applicazioni e migliorare la sicurezza. Una volta catturato un pacchetto esso può essere ispezionato nei minimi dettagli inclusi intestazioni di livello fisico, dati di livello applicativo e tutto ciò che sta nel mezzo. Con Wireshark è possibile applicare dei filtri che ci permettono di visualizzare specifiche tipologie di pacchetti. Inoltre, supporta anche numerosi protocolli che ci permettono di decodificare i pacchetti permettendo un'ampia analisi.

1) Diagnosi dei problemi di rete:

Identifica colli di bottiglia, errori di configurazione e problemi di latenza.

2) Sicurezza di rete:

Rileva attività sospette, analizza gli attacchi di rete e verifica le politiche di sicurezza.

40) Differenza tra Switch e Router

Switch e Router sono dispositivi fondamentali per le reti, ma svolgono ruoli diversi:

Switch)

- Collega i dispositivi di una rete locale (LAN) permettendo loro di comunicare.
- Possono operare al 2° livello (Data Link) e al 3° livello (Livello di Rete) per i livelli OSI (gestione dei frame).
- Usa la tabella MAC per instradare i pacchetti di informazioni.
- Inoltra i pacchetti solo ai reali destinatari.

Router)

- Collega tra loro le reti come LAN e WAN e instrada i pacchetti tra loro.
- Opera sul 3° livello (Livello di Rete) nel modello OSI (gestione dei pacchetti: IP).
- Utilizza una tabella di Routing per determinare il percorso migliore, esamina gli indirizzi IP di origine e destinazione per instradare i dati.

Esempio: Lo Switch permette a computer dello stesso ufficio di essere connessi fra loro mentre il router permette alla rete dell'ufficio di connettersi con Internet o ad un'altra sede dell'ufficio.

41) Come viene inviato un pacchetto IP

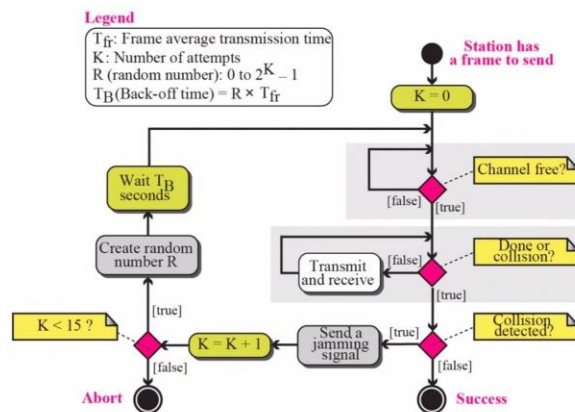
- 1) Un'applicazione genera i dati da inviare attraverso la rete, che poi vengono passati al protocollo di trasporto (TCP o UDP).
- 2) TCP → I dati vengono divisi in segmenti, viene calcolato il checksum e aggiunta l'intestazione TCP.
UDP → I dati vengono divisi in datagrammi con intestazione UDP.
- 3) Il segmento TCP o datagramma UDP viene incapsulato in un pacchetto IP, il pacchetto IP include l'indirizzo IP sorgente, l'indirizzo IP destinatario, informazioni sul tipo di protocollo di trasporto usata, lunghezza del pacchetto e TTL (Time to Live).
- 4) Viene determinato il percorso che il pacchetto dovrà seguire.
- 5) Il pacchetto IP viene incapsulato in un frame del Data Link.
- 6) Il frame viene trasmesso sul mezzo fisico.
- 7) Arrivato al router viene estratto il pacchetto IP dal frame. Il Router decrementa il TTL e ricalcola il checksum, il pacchetto infine viene inserito in un nuovo frame dopo che si è consultata la tabella di Routing.
- 8) Arrivato a destinazione e riconosciuto l'indirizzo MAC, si estrae il pacchetto IP dal frame e si passa il contenuto al livello di trasporto (TCP/UDP).
- 9) Se il protocollo è TCP vengono riassemblati i segmenti e si invia un ACK in caso non ci siano errori, nel caso di UDP vengono consegnati i datagrammi.

42) Differenza tra CSMA/CD e CSMA/CA

- **CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection):**

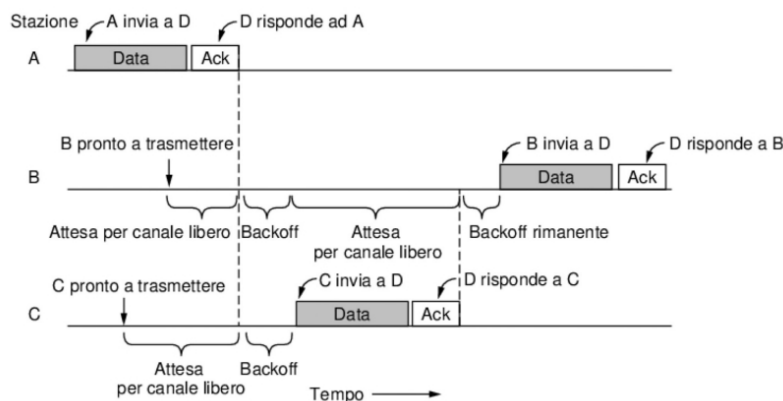
È utilizzato nelle reti cablate Ethernet tradizionali (IEEE 802.3), prima di trasmettere controlla se il canale è libero, più stazioni possono accedere al canale condiviso. Durante le trasmissioni si monitora il canale in cerca di collisioni, se avviene una collisione si blocca la trasmissione. Dopo che la trasmissione viene interrotta in

seguito al rilevamento di una collisione si invia un segnale di jamming per avvisare tutte le stazioni. Le stazioni aspettano un periodo casuale di prima di ritrasmettere.



- CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance):

È utilizzato nelle reti wireless (802.11), prima di trasmettere controlla se il canale è libero, più stazioni possono accedere al canale condiviso. Cerca di evitare le collisioni piuttosto che rilevarle, aspettando un periodo IFS (Interframe spacing) dopo che il canale risulta libero prima di trasmettere. Prima di ritrasmettere si usano i meccanismi RTS (Request to Send) e CTS (Clear to Send) per servare il canale ed evitare collisioni. Se il canale è occupato, la stazione aspetta un tempo di backoff prima di riprovare a trasmettere.



43) Cos'è la tabella ARP

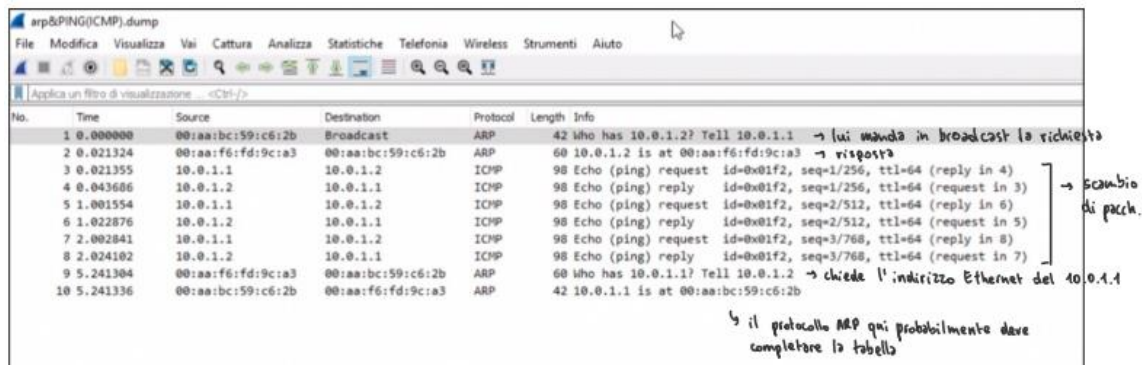
La tabella ARP (Address Resolution Protocol) è una componente fondamentale del networking in reti TCP/IP, che mappa gli indirizzi IP (Internet Protocol) agli indirizzi MAC (Media Access Control). Dato che gli indirizzi IP lavorano al 3° livello del modello OSI e gli indirizzi MAC al 2° il protocollo ARP serve a tradurre gli indirizzi IP in indirizzi MAC.

- Funzionamento:

Quando un dispositivo vuole inviare un pacchetto ad un altro dispositivo nella rete locale, deve conoscere il suo indirizzo MAC per poter comunicare. Nel caso non lo sappia si usa il protocollo ARP:

- 1) **Richiesta ARP** (ARP Request): Il dispositivo emittente trasmette un pacchetto ARP in broadcast (ovvero a tutti i dispositivi nella rete locale) chiedendo a chi appartiene un determinato indirizzo IP.
- 2) **Risposta ARP** (ARP Reply): Il dispositivo corrispondente manda un pacchetto ARP in unicast al mittente, contenente il suo indirizzo MAC.

- Tabella ARP:



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	00:aa:bc:59:c6:2b	Broadcast	ARP	42	Who has 10.0.1.2? Tell 10.0.1.1 → lui manda in broadcast la richiesta
2	0.021324	00:aa:f6:fd:9c:a3	00:aa:bc:59:c6:2b	ARP	60	10.0.1.2 is at 00:aa:f6:fd:9c:a3 → risposta
3	0.021355	10.0.1.1	10.0.1.2	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x01f2, seq=1/256, ttl=64 (reply in 4)
4	0.043686	10.0.1.2	10.0.1.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x01f2, seq=1/256, ttl=64 (request in 3)
5	1.001554	10.0.1.1	10.0.1.2	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x01f2, seq=2/512, ttl=64 (reply in 6)
6	1.022876	10.0.1.2	10.0.1.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x01f2, seq=2/512, ttl=64 (request in 5)
7	2.002841	10.0.1.1	10.0.1.2	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x01f2, seq=3/768, ttl=64 (reply in 8)
8	2.024102	10.0.1.2	10.0.1.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x01f2, seq=3/768, ttl=64 (request in 7)
9	5.241304	00:aa:f6:fd:9c:a3	00:aa:bc:59:c6:2b	ARP	60	Who has 10.0.1.1? Tell 10.0.1.2 → chiede l'indirizzo Ethernet del 10.0.1.1
10	5.241336	00:aa:bc:59:c6:2b	00:aa:f6:fd:9c:a3	ARP	42	10.0.1.1 is at 00:aa:bc:59:c6:2b

→ scambio di pacchetti.

↳ il protocollo ARP qui probabilmente deve compilare la tabella

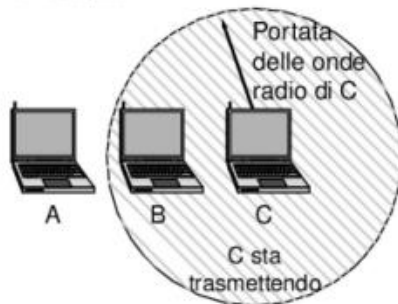
La tabella ARP è una cache dove vengono salvate le corrispondenze tra indirizzi IP e indirizzi MAC, così da evitare di riutilizzare il protocollo ARP per indirizzi già conosciuti. La tabella è costituita da 3 voci; IP, MAC, TTL (Time to Live) indica per quanto tempo rimarrà l'informazione nella tabella prima di essere eliminata.

- Importanza:

Senza una cache ARP si rallenterebbe notevolmente la comunicazione dovuta alle continue richieste ARP.

44) Problema della stazione nascosta

A vuole trasmettere dati a B
ma non è in grado di scoprire
se B è occupato



In cosa consiste il problema della stazione nascosta? La stazione A vuole comunicare a B, ma non è in grado di capire se B sia occupato in quel momento. Intanto C sta trasmettendo a B ma A si trova al di fuori della sua portata radio. Se A rilevando il canale, dovesse decidere di trasmettere, poiché libero dal suo punto di vista, genererebbe una collisione. Per evitare questa ambiguità 802.11 definisce due tipi di rilevazioni: quella fisica e quella virtuale. Con la rilevazione fisica si vede se il canale è libero, con la rilevazione virtuale si tiene traccia dei NAV (Network Allocation Vector). Ogni frame possiede un campo NAV che indica quanto tempo sia necessario per completare la sequenza di cui il frame fa parte. Le stazioni che vedono il frame

sapranno che il canale resterà occupato per il periodo di tempo indicato dal NAV, indipendentemente dal fatto che sia rilevato un segnale fisico. Un meccanismo opzionale di RTS/CTS utilizza il NAV per impedire che i terminali spediscono frame contemporaneamente a terminali nascosti. In questo esempio C vuole spedire dei dati a B. C è una stazione fuori dal raggio di copertura di A. Il protocollo inizia quando C decide di voler spedire dati a B. C inizia spedendo un frame RTS (Request to Send) a B per richiedere il permesso di spedirgli un frame. Se B riceve la richiesta, risponde con un frame CTS (Clear to Send) per indicare che il canale è libero per la spedizione. Una volta ricevuto il CTS, C spedisce il frame e fa partire un timer per l'acknowledgement (ACK timer). Considerando ora questo scambio dal punto di vista di A, A non vede il frame RTS poiché non è nel raggio di C, vede però il CTS di B e quindi aggiornerà il suo stato interno sui NAV. I NAV non sono trasmessi, sono solo note interne per rimanere inattivi per un determinato periodo di tempo. Anche se RTS/CTS sembra in teoria valida, non è efficace con i frame corti (che vengono spediti al posto degli RTS) e con gli AP (che chiunque può raggiungere, per definizione).

45) Come viene deciso l'indirizzo IP del PC all'accensione? (DHCP)

Il DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) è un protocollo a livello applicazione utilizzato per assegnare automaticamente indirizzi IP e offre configurazioni di rete ai dispositivi che si connettono.

- **Funzionamento:**

- 1) **Scoperta:** Un client che si connette alla rete manda in broadcast un messaggio DHCP per trovare il server DHCP.
- 2) **Offerta:** Uno o più server DHCP rispondono con un messaggio contenente l'indirizzo IP ed altre informazioni come gateway, subnet mask, lease time, ecc...
- 3) **Richiesta:** Il client sceglie un'offerta e manda un messaggio di richiesta al server.
- 4) **Conferma:** Il server DHCP conferma la richiesta, assegnando l'indirizzo IP al client.

Il DHCP è composto da quattro componenti: Client DHCP, Server DHCP, Pool di indirizzi (gamma di indirizzi IP che può assegnare), Lease time (periodo durante il quale gli indirizzi IP assegnati sono validi).

- **Vantaggi:**

I vantaggi sono che non serve una configurazione manuale, il server DHCP facilita l'amministrazione di rete e gli indirizzi IP appartenenti al pool sono riutilizzabili.

46) Differenza tra indirizzi pubblici e privati

- **Indirizzi IP pubblici:**

Gli indirizzi IP pubblici sono univoci a livello globale. Questi indirizzi possono essere raggiunti da un qualsiasi dispositivo su Internet. Sono utilizzati per identificare dispositivi che necessitano di comunicare direttamente su Internet come server web, server e-mail e dispositivi che devono essere accessibili pubblicamente. Sono visibili pubblicamente su Internet, ciò li rende vulnerabili se non adeguatamente protetti.

- **Indirizzi IP privati:**

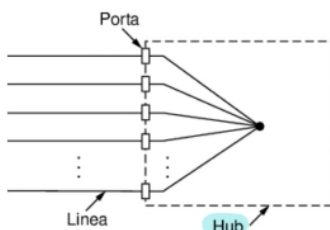
Gli indirizzi IP privati sono indirizzi riservati per l'uso all'interno di reti locali (LAN). Non possono essere estradati su Internet e sono utilizzati per la comunicazione tra dispositivi della stessa rete locale. Si usano per identificare dispositivi all'interno di una rete privata come stampanti, computer o router domestici. Non visibili su Internet, i router e i dispositivi di rete utilizzano la traduzione degli indirizzi di rete (NAT) per consentire la comunicazione tra reti private e Internet.

- **NAT (Network Address Translation):**

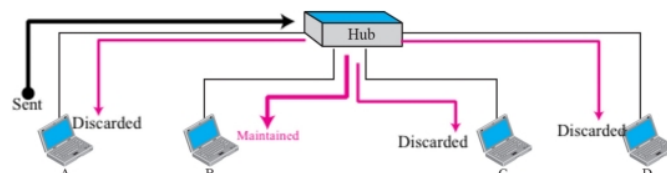
Il NAT è una tecnologia utilizzata principalmente dai router per permettere ai dispositivi con indirizzi IP privati di comunicare con Internet utilizzando un indirizzo IP pubblico.

47) Differenza tra Switch e HUB

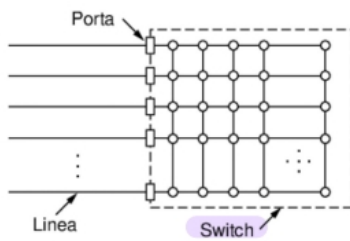
- **HUB:**



Un hub è un dispositivo di rete che trasmette i dati ricevuti a tutte le porte. Quando un dispositivo invia dati all'hub, l'hub inoltra i dati a tutte le porte. Così si congestiona la rete ed è probabile che si verifichino collisioni, per questo è richiesto l'utilizzo dell'algoritmo CSMA/CD. L'hub opera al 1° livello del modello OSI (Livello Fisico), generalmente supportano velocità di rete inferiori e non possono gestire contemporaneamente più trasmissioni senza collisioni.

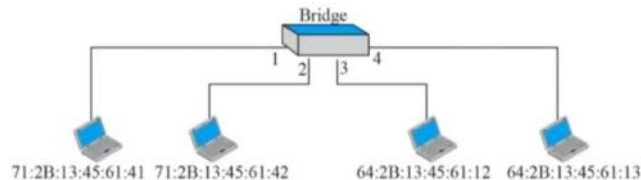


- Switch:



Uno switch è un dispositivo di rete che trasmette i dati solo alla porta specifica che è collegata al dispositivo destinatario. Quando un dispositivo invia dati allo switch, esso legge l'indirizzo MAC e invia i dati alla porta con quell'indirizzo. Così si riducono traffico di rete e collisioni. Può operare al 2° livello (Data Link) e in alcuni casi anche al 3° livello (Network), supportano velocità di rete elevate e possono gestire più trasmissioni simultaneamente grazie al full-duplex senza problemi di collisione.

Address	Port
71:2B:13:45:61:41	1
71:2B:13:45:61:42	2
64:2B:13:45:61:12	3
64:2B:13:45:61:13	4



48) Modello OSI: Livello di Rete (3° livello)

Il livello di rete controlla il funzionamento della sottorete. Si occupa della modalità con cui i pacchetti sono inoltrati dalla sorgente alla destinazione, quando nella sottorete sono presenti contemporaneamente troppi pacchetti si creano delle congestioni e questo controllo spetta proprio al Livello di Rete per consentire la comunicazione tra reti eterogenee (routing).

49) Modello TCP/IP: Livello di Trasporto (3° livello)

È progettato per consentire la comunicazione tra peer degli host sorgente e destinazione, come nel livello di trasporto OSI. In questo livello sono stati definiti due protocolli di trasporto end-to-end: TCP e UDP.

- **TCP (Transmission Control Protocol):** È un protocollo affidabile orientato alla connessione che permette a un flusso di byte emessi da un dispositivo di raggiungere, senza errori, qualsiasi altro dispositivo collegato ad Internet. Si suddivide il flusso in frammenti, arrivati a destinazione i frammenti vengono riuniti per ricomporre il messaggio. TCP gestisce anche il controllo di flusso per evitare congestioni.
- **UDP (User Datagram Protocol):** È un protocollo inaffidabile non senza connessione per le applicazioni che non vogliono garanzie sull'ordinamento e il controllo di flusso, ma preferiscono gestire queste funzioni in modo autonomo.

50) Modello TCP/IP: Livello di Applicazione (4° livello)

Il livello di applicazione è dove vengono definiti tutti i protocolli superiori comunemente richiesti dagli utenti come DNS, TELNET, FTP, HTTP (Hypertext Transfer Protocol), la base del World Wide Web (Interfaccia utente e macchina).

51) Come funziona la consegna di un pacchetto IP nella stessa sottorete?

La consegna di un pacchetto IP in una sottorete avviene attraverso una serie di passaggi che coinvolgono indirizzi IP, indirizzi MAC e tabella ARP. Il dispositivo mittente crea il pacchetto IP, con l'indirizzo IP del destinatario. Il mittente poi controlla che l'indirizzo IP destinatario appartenga alla sottorete, questo è fatto confrontando la parte di rete dell'indirizzo IP con la subnet mask. In caso affermativo si utilizza il protocollo ARP (Address Resolution Protocol) per ottenere l'indirizzo MAC del destinatario. Nel caso non si trovi l'indirizzo nella tabella ARP si fa una richiesta in broadcast. Il dispositivo poi incapsula il pacchetto IP in una frame Ethernet che contiene MAC sorgente e destinatario e invia il frame nella rete locale. Il dispositivo di rete (es. switch) riceve il frame e lo inoltra alla porta che corrisponde all'indirizzo MAC destinatario. Il destinatario dopo aver controllato che il suo indirizzo MAC coincida con quello del destinatario, decapsula ed elabora il pacchetto IP.

FRAMMENTAZIONE → un pacchetto è arrivato con un M bit a 0 → significa che non ci sono più frammenti, è l'ultimo

↓
può un frammento essere
riframmentato?

↓
Sì

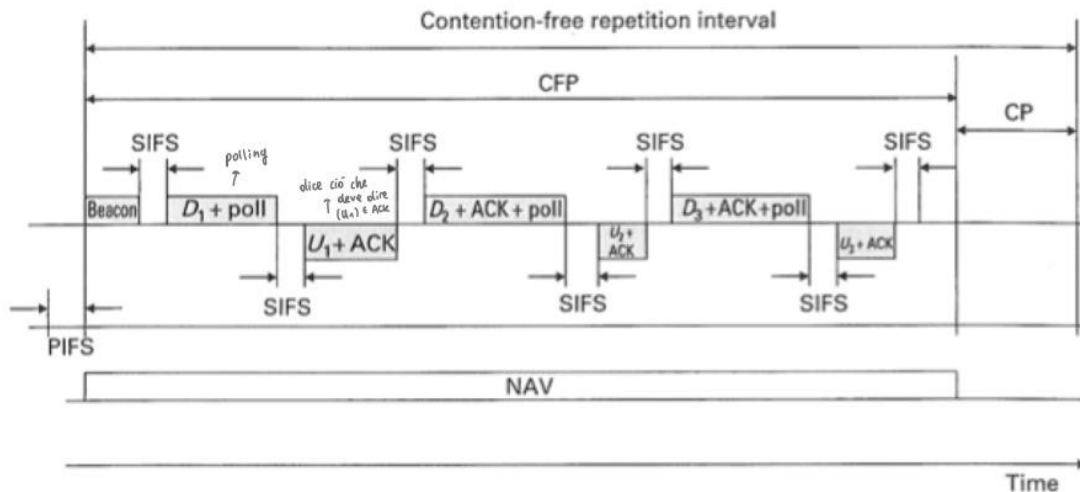
↓
 M bit = 1
significa che c'è almeno un altro frammento

↓
 M bit a 1 e fragmentation offset a 0
significa che è il primo frammento

↓
tuttavia non sappiamo se il pacchetto originale è stato
frammentato o no

↓
un pacchetto non frammentato è considerato l'ultimo
frammento

54) Intervallo di ripetizione senza contesa (Contention-Free Repetition Interval)



Descrizione dei componenti:

- 1) **CFP (Contention Free Period):** Questo è il periodo senza contesa durante il quale il PC, solitamente l'AP, controlla l'accesso al canale. Durante il CFP, il PC invia pacchetti dati ai client e attende le risposte senza contesa.
- 2) **CP (Contention Period):** Questo è il periodo in cui i dispositivi usano il CSMA/CA.
- 3) **Beacon:** Un frame trasmesso periodicamente dall'AP per sincronizzare il client e segnalare l'inizio del CFP.
- 4) **PIFS (PCF Inteframe Space):** Un breve intervallo di tempo tra i frame del PC per ottenere priorità sul canale.
- 5) **SIFS (Short Inteframe Space):** Intervallo per trasmettere risposte immediate come ACK o polling.
- 6) **NAV (Network Allocation Vector):** Periodo di tempo in cui le stazioni che non occupano il canale non possono inviare pacchetti per evitare collisioni.

Funzionamento del processo:

- 1) **Inizio CFP:** Il CFP inizia con la trasmissione del Beacon dall'AP.
- 2) **Trasmissione dei dati e polling:** L'AP invia un pacchetto dati D_1 a un client e include un messaggio di polling per il prossimo client. Dopo un intervallo SIFS il client può rispondere con un'ACK e può trasmettere i dati U_1 . Il ciclo continua finché il CFP è attivo.