



Trasmissione Numerica sul Canale Radio-Mobile

Fulvio Babich (babich@units.it)

DIA – Università di Trieste



Canale Radio-mobile

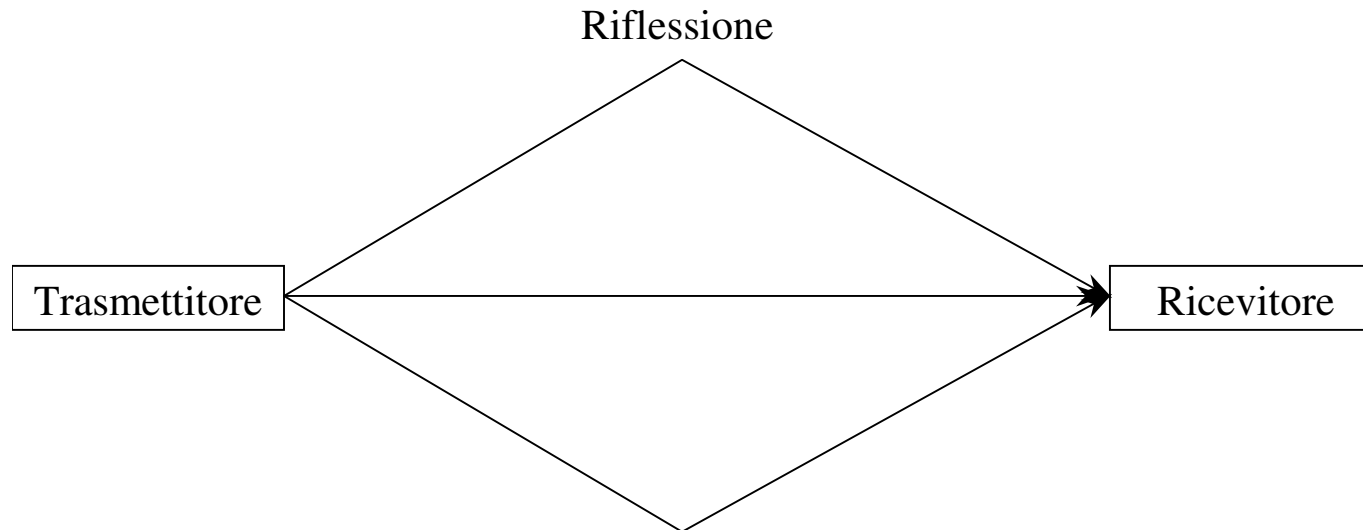
- Mezzo trasmissivo aperto (broadcast)
 - Condivisione delle risorse (TDM, FDM, CDMA)
 - Disturbi
 - Interferenze
 - Intercettazione

- Mobilità
 - Caratteristiche del canale variabili nel tempo
 - Affievolimenti
 - Ombreggiature
 - Copertura e continuità del servizio



Canale *multipath*

- Propagazione per **cammini multipli** (*multipath channel*).



- Effetti della mobilità:
 - o **Effetto Doppler** (ritardo variabile: variazione frequenza).
 - o **Combinazione aleatoria fasi cammini multipli.**



Risposta del canale

- Definito dalla risposta impulsiva (*input delay spread function*): $c(t, \tau)$ (risposta del canale valutata in t a un impulso applicato in $t - \tau$).

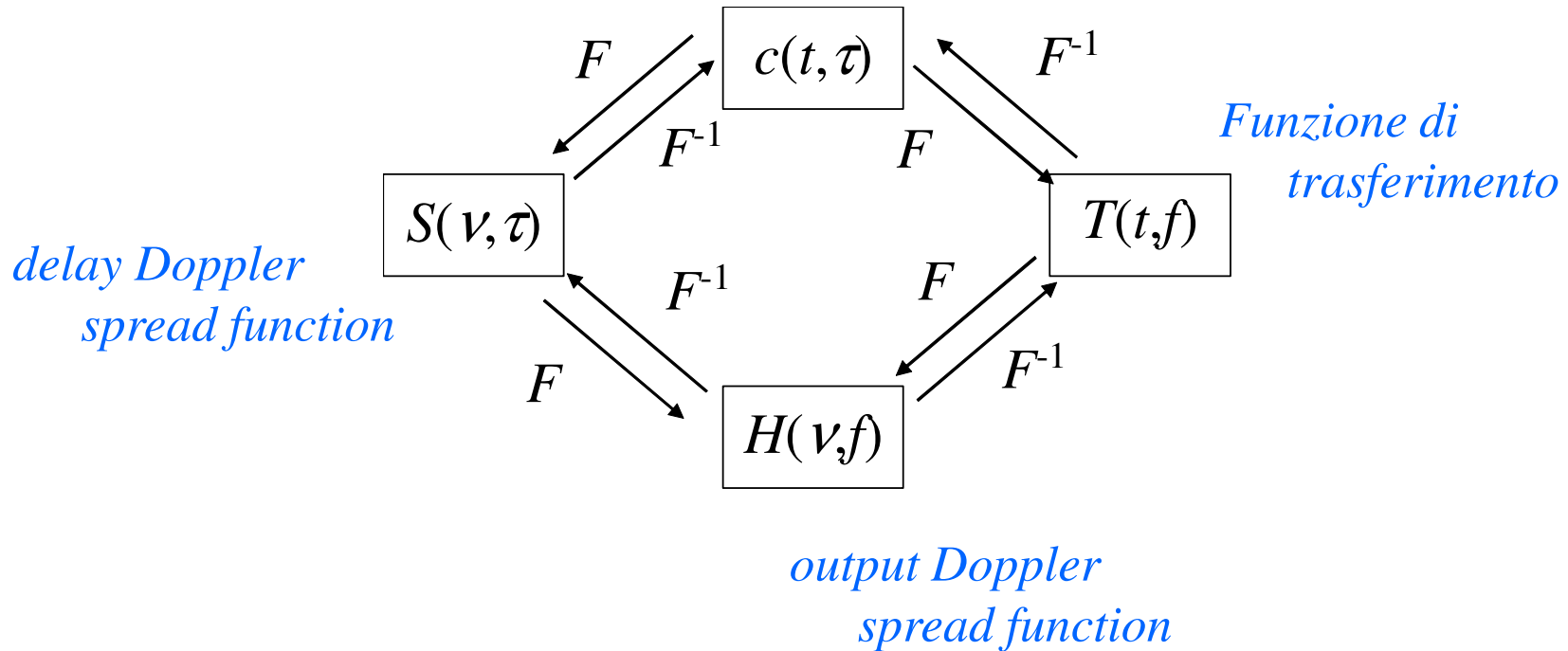
- Pertanto

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t - \tau) c(t, \tau) d\tau$$



Funzioni di Bello

- Trasformazioni di Fourier





Funzioni di Bello (2)

- $S(\tau, \nu)$: *delay Doppler spread function*; fornisce un'indicazione della dispersione del canale nei confronti della frequenza Doppler ν al variare del ritardo τ .
- $T(f, t)$: *funzione di trasferimento* tempo variante

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f)T(f, t)e^{j2\pi ft} df$$

- $H(f, \nu)$: *output Doppler spread function* ; fornisce un'indicazione della dispersione del canale nei confronti della frequenza Doppler ν al variare della frequenza f .

$$Y(f) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f - \nu)H(f - \nu, \nu)d\nu$$



Funzioni di correlazione

- $\Phi_c(t,s;\tau,\eta)=E[c(t,\tau)c^*(s,\eta)]/2;$
 - $\Phi_T(t,s;f,m)=E[T(t,f)T^*(s,m)]/2;$
 - $\Phi_H(\nu,\mu;f,m)=E[H(\nu,f)H^*(\mu,m)]/2;$
 - $\Phi_S(\nu,\mu;\tau,\eta)=E[S(\nu,\tau)S^*(\mu,\eta)]/2.$
- Sono collegate tra loro mediante doppia trasformata di Fourier.

$$\Phi_S(\nu,\mu;\tau,\eta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_c(t,s;\tau,\eta) e^{j2\pi(\nu t - \mu s)} dt ds$$

$$\Phi_c(t,s;\tau,\eta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_S(\nu,\mu;\tau,\eta) e^{-j2\pi(\nu t - \mu s)} d\nu d\mu$$

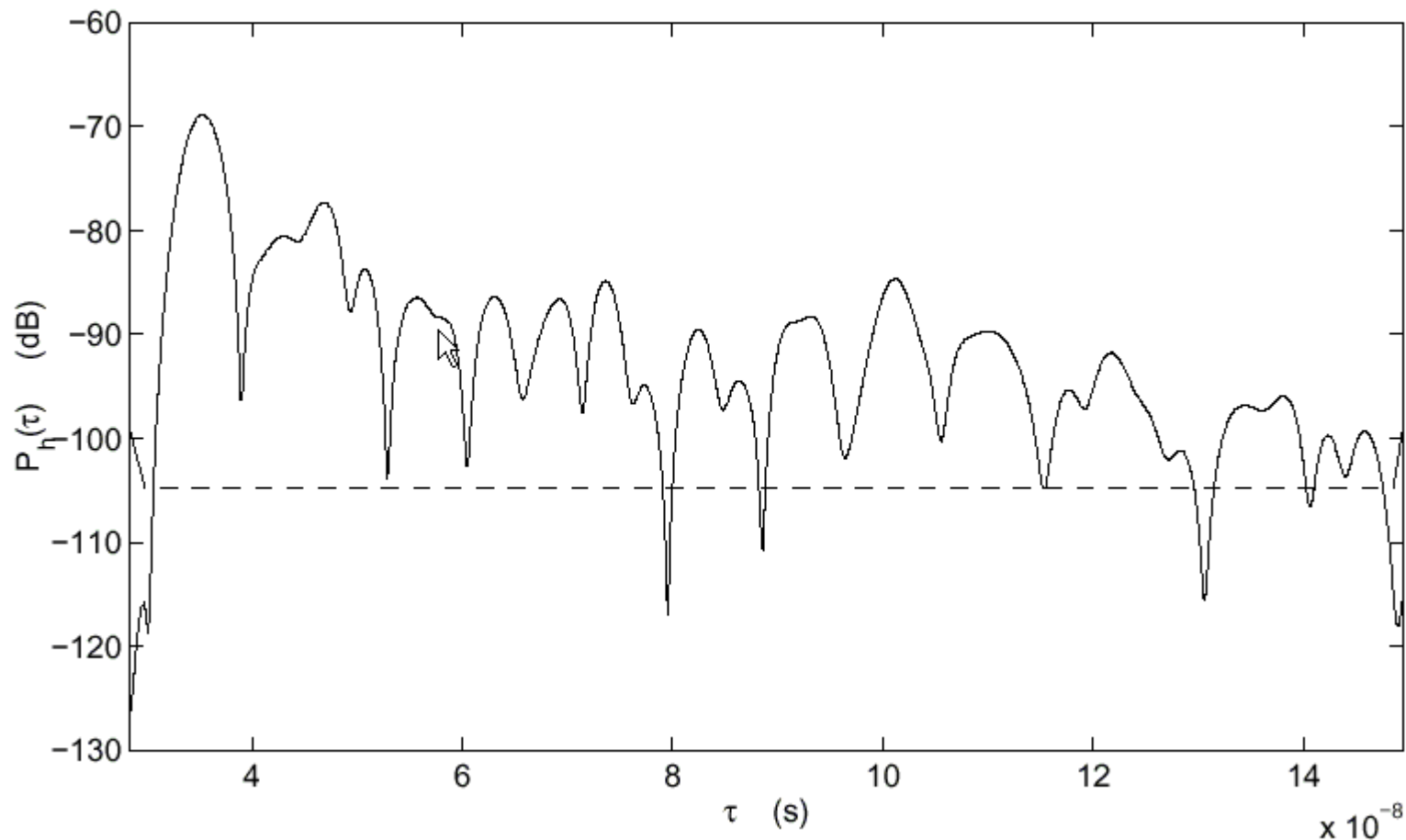
Wide Sense Stationary Uncorrelated Scattering (WSSUS) channel



- L'attenuazione e lo sfasamento associate al ritardo τ_1 sono incorrelate con quelle associate al ritardo τ_2 . Lo stesso vale per le frequenze Doppler ν_1 e ν_2 .
- $\Phi_c(t, t + \Delta t; \tau, \eta) = \Phi_c(\Delta t, \tau) \delta(\eta - \tau)$;
- $\Phi_T(t, t + \Delta t; f, f + \Delta f) = \Phi_T(\Delta t; \Delta f)$;
- $\Phi_H(\nu, \mu; f, f + \Delta f) = \Phi_H(\nu, \Delta f) \delta(\nu - \mu)$;
- $\Phi_S(\nu, \mu; \tau, \eta) = \Phi_S(\nu, \tau) \delta(\eta - \tau) \delta(\nu - \mu)$.
- La funzione $\Phi_c(0, \tau) = \Phi_c(\tau)$ è detta *power delay profile*, e fornisce la potenza media (mediata su tutti i valori del Doppler spread ν) in uscita, in funzione del ritardo τ .



Power delay profile (esempio indoor)





Delay Spread

- Ritardo medio:
$$\mu_\tau = \frac{\int_0^\infty \tau \phi_c(\tau) d\tau}{\int_0^\infty \phi_c(\tau) d\tau}$$

- Delay spread:
$$\sigma_\tau = \sqrt{\frac{\int_0^\infty (\tau - \mu_\tau)^2 \phi_c(\tau) d\tau}{\int_0^\infty \phi_c(\tau) d\tau}}$$

- Macrocelle: 1-10 μs
- Indoor (open space): 300 ns
- Indoor (stanze): 30-60 ns



Banda di coerenza

- La funzione $\Phi_T(\Delta t=0, \Delta f) = \Phi_T(\Delta f)$ misura la correlazione in frequenza del canale.
- Si definisce banda di coerenza, B_c , la separazione di frequenza, Δf , per la quale $\Phi_T(\Delta f)$ assume un valore prefissato (di solito 0.5).
- La banda di coerenza è proporzionale al reciproco del *delay spread*.

$$B_c \equiv \frac{1}{\sigma_\tau}$$



Tempo di coerenza

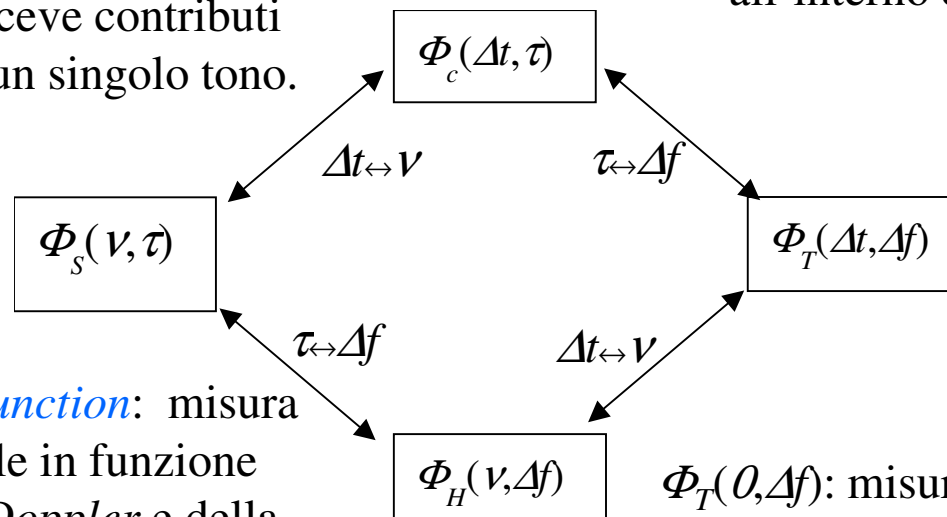
- La funzione $\Phi_H(\nu, \Delta f=0) = \Phi_H(\nu)$ è fornisce l'andamento della potenza in uscita in funzione della frequenza Doppler, ν .
- La banda, B_d , entro cui tale funzione assume valori significativi è detta *Doppler spread*.
- L'inverso di tale banda è detto tempo di coerenza (intervallo di tempo in cui permane una significativa correlazione fra le caratteristiche del canale).
- Si noti che B_d è proporzionale alla velocità del mobile, ν ,
 $B_d \equiv \nu/\lambda = \nu f_c/c$, dove f_c è la frequenza della portante e c è la velocità della luce nel vuoto.



Riepilogo

$\Phi_c(\Delta t, \tau)$: assume valori vicini a $\Phi_c(0, \tau)$ per $\Delta t < T_c$ (**tempo di coerenza**).
Doppler Spread: $B_d = 1/T_c$; banda entro cui un mobile riceve contributi significativi da un singolo tono.

$\Phi_c(0, \tau)$: *delay power spectrum*: assume valori significativi all'interno del **delay spread**.



Spaced time spaced frequency correlation function.

$\Phi_S(\nu, \tau)$: *scattering function*: misura risposta del canale in funzione della frequenza *Doppler* e della variazione temporale.

$\Phi_T(0, \Delta f)$: misura coerenza del canale nel dominio della frequenza. Assume valori significativi all'interno della **banda di coerenza** (inversamente proporzionale al *delay spread*).

$\Phi_H(\nu, 0)$: *Doppler power spectrum*: assume valori significativi all'interno del **Doppler spread**.



Canale a ritardi discreti

- Supponiamo di avere N cammini distinti, ciascuno dei quali è caratterizzato da attenuazione α_i e ritardo τ_i . Si ha:

$$c(t, \tau) = \sum_{i=1}^N \alpha_i(t) e^{-j2\pi f \tau_i(t)} \delta(\tau - \tau_i(t))$$

- Peso del generico cammino:

$$p_i = \frac{\alpha_i^2}{\sum_{n=1}^N \alpha_n^2}$$

- Ritardo medio e *delay spread*:

$$\mu_\tau = \sum_{i=1}^N p_i \tau_i \qquad \sigma_\tau = \sqrt{\sum_{i=1}^N p_i (\tau_i - \mu_\tau)^2}$$

Modello di canale a 6 raggi (macrocelle) (COST 207)



Tipico urbano		Urbano (worst case)	
ritardo, μs	peso	ritardo, μs	peso
0.0	0.189	0.0	0.164
0.2	0.379	0.3	0.293
0.5	0.239	1.0	0.147
1.6	0.095	1.6	0.094
2.3	0.061	5.0	0.185
5.0	0.037	6.6	0.117