099322 - SEGNALI PER LE COMUNICAZIONI A.A. 2024/25

Scaglioni da manifesto (Mostra >>) | Scaglioni per esame (Mostra >>) | **Orario didattico (Nascondi <<)**

Data	Dove	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Lunedì													
Martedì	26.12		SEGNALI PER LE COMUNICAZIONI (dal *18/02/2025* al *27/05/2025*)										
Mercoledì	25.S.1						SEGNALI PER LE COMUNICAZIONI (dal *19/02/2025* al *28/05/2025*)						
Giovedì													
Venerdì	26.04						SEGNALI PER LE COMUNICAZIONI (dal *21/02/2025* al *30/05/2025*)						
Sabato													

Aule Virtuali per attività didattiche

Aula virtuale - PRATI CLAUDIO MARIA

1° SEMESTRE				SESSIONE D'ESAME	2° SEMESTRE				SESSIONE D'ESAME		VACANZE ESTIVE	SESSIONE D'ESAME
SETTEMBRE 2024	**OTTOBRE 2024**	**NOVEMBRE 2024**	**DICEMBRE 2024**	**GENNAIO 2025**	**FEBBRAIO 2025**	**MARZO 2025**	**APRILE 2025**	**MAGGIO 2025**	**GIUGNO 2025**	**LUGLIO 2025**	**AGOSTO 2025**	**SETTEMBRE 2025**
	1 MAR	1 VEN	1 DOM	1 MER	1 SAB	1 SAB	1 MAR	1 GIO	1 DOM	1 MAR	1 VEN	1 LUN
	2 MER	2 SAB	2 LUN	2 GIO	2 DOM	2 DOM	2 MER TERRIT.	2 VEN	2 LUN	2 MER	2 SAB	2 MAR
	3 GIO FEST. EBR	3 DOM	3 MAR	3 VEN	3 LUN	3 LUN	3 GIO MILANO	3 SAB	3 MAR FEST. EBR	3 GIO	3 DOM	3 MER
	4 VEN FEST. EBR	4 LUN	4 MER	4 SAB	4 MAR	4 MAR	4 VEN	4 DOM	4 MER	4 VEN	4 LUN	4 GIO
	5 SAB	5 MAR	5 GIO	5 DOM	5 MER	5 MER MILANO	5 SAB	5 LUN	5 GIO	5 SAB	5 MAR	5 VEN
	6 DOM	6 MER	6 VEN PATR. LECCO	6 LUN	6 GIO	6 GIO TERRIT.	6 DOM	6 MAR	6 VEN	6 DOM	6 MER	6 SAB
	7 LUN	7 GIO	7 SAB	7 MAR	7 VEN	7 VEN	7 LUN	7 MER	7 SAB	7 LUN	7 GIO	7 DOM
	8 MAR	8 VEN	8 DOM	8 MER	8 SAB	8 SAB	8 MAR	8 GIO	8 DOM	8 MAR	8 VEN	8 LUN
	9 MER TERRIT.	9 SAB	9 LUN	9 GIO	9 DOM	9 DOM	9 MER	9 VEN	9 LUN	9 MER	9 SAB	9 MAR
	10 GIO MILANO	10 DOM	10 MAR TERRIT.	10 VEN	10 LUN	10 LUN	10 GIO	10 SAB	10 MAR	10 GIO	10 DOM	10 MER
	11 VEN	11 LUN	11 MER MILANO	11 SAB	11 MAR	11 MAR	11 VEN	11 DOM	11 MER	11 VEN	11 LUN	11 GIO
	12 SAB FEST. EBR	12 MAR	12 GIO	12 DOM	12 MER	12 MER	12 SAB	12 LUN	12 GIO	12 SAB	12 MAR	12 VEN
	13 DOM	13 MER	13 VEN	13 LUN	13 GIO	13 GIO	13 DOM	13 MAR	13 VEN	13 DOM	13 MER	
	14 LUN	14 GIO	14 SAB	14 MAR	14 VEN	14 VEN	14 LUN FEST. EBR	14 MER	14 SAB	14 LUN	14 GIO	
	15 MAR	15 VEN	15 DOM	15 MER	15 SAB	15 SAB	15 MAR FEST. EBR	15 GIO	15 DOM	15 MAR	15 VEN	
	16 MER	16 SAB	16 LUN	16 GIO	16 DOM	16 DOM	16 MER FEST. EBR	16 VEN	16 LUN	16 MER MILANO	16 SAB	
16 LUN INIZIO 1 SEM.	17 GIO FEST. EBR	17 DOM	17 MAR	17 VEN	17 LUN INIZIO 2 SEM.	17 LUN	17 GIO FEST. EBR	17 SAB	17 MAR	17 GIO TERRIT.	17 DOM	
17 MAR	18 VEN FEST. EBR	18 LUN	18 MER	18 SAB	18 MAR	18 MAR	18 VEN FEST. EBR	18 DOM	18 MER	18 VEN	18 LUN	
18 MER	19 SAB	19 MAR	19 GIO	19 DOM	19 MER	19 MER	19 SAB FEST. EBR	19 LUN	19 GIO	19 SAB	19 MAR	
19 GIO	20 DOM	20 MER	20 VEN FINE 1 SEM.	20 LUN	20 GIO	20 GIO	20 DOM DOM. PASQUA	20 MAR	20 VEN	20 DOM	20 MER	
20 VEN	21 LUN	21 GIO	21 SAB	21 MAR	21 VEN	21 VEN	21 LUN LUN. ANGELO	21 MER	21 SAB	21 LUN	21 GIO	
21 SAB	22 MAR	22 VEN	22 DOM	22 MER	22 SAB	22 SAB	22 MAR	22 GIO	22 DOM	22 MAR MILANO	22 VEN	
22 DOM	23 MER	23 SAB	23 LUN	23 GIO	23 DOM	23 DOM	23 MER	23 VEN	23 LUN	23 MER TERRIT.	23 SAB	
23 LUN	24 GIO FEST. EBR	24 DOM	24 MAR	24 VEN	24 LUN	24 LUN	24 GIO	24 SAB	24 MAR	24 GIO	24 DOM	
24 MAR MILANO	25 VEN FEST. EBR	25 LUN	25 MER NATALE	25 SAB	25 MAR	25 MAR	25 VEN	25 DOM	25 MER	25 VEN	25 LUN	
25 MER	26 SAB	26 MAR	26 GIO	26 DOM	26 MER	26 MER	26 SAB	26 LUN	26 GIO	26 SAB	26 MAR	
26 GIO TERRIT.	27 DOM	27 MER	27 VEN	27 LUN	27 GIO	27 GIO	27 DOM	27 MAR	27 VEN	27 DOM	27 MER	
27 VEN	28 LUN	28 GIO	28 SAB	28 MAR	28 VEN	28 VEN	28 LUN	28 MER	28 SAB	28 LUN	28 GIO	
28 SAB	29 MAR	29 VEN	29 DOM	29 MER		29 SAB	29 MAR	29 GIO	29 DOM	29 MAR	29 VEN	
29 DOM	30 MER	30 SAB	30 LUN	30 GIO		30 DOM	30 MER	30 VEN	30 LUN	30 MER	30 SAB	
30 LUN	31 GIO		31 MAR	31 VEN		31 LUN		31 SAB FINE 2 SEM.		31 GIO	31 DOM	

LEZIONE · ESAMI · PROVE IN ITINERE · ALTRE ATTIVITÀ · LAUREE MAGISTRALI · LAUREE 1° LIVELLO · SABATO · FESTIVITÀ · VACANZE

ALCUNE INFORMAZIONI

1. NON sono previste prove in itinere, ma solo appelli che consistono nella risoluzione di esercizi scritti. Si vedano gli esempi di temi d'esame pre e post-Covid sulla pagina prati.faculty.polimi.it

2. Il giorno Martedì 3 giugno alle ore 8:30 (aule 9.0.1 e 9.1.2) aggiungerò un appello extra oltre a quelli previsti il 19/6, il 15/7 e il 1/9.

3. Lezioni ed esercitazioni si alterneranno senza schemi settimanali fissi: gli esercizi seguiranno le lezioni quando sarà necessario fissare le idee su quanto visto in teoria.

4. Oltre a lezioni ed esercitazioni svolgerò 5 sessioni di laboratorio Matlab in classe. La prima lezione sarà un'introduzione veloce a Matlab per chi non lo conoscesse.

5. Gli iscritti all'indirizzo di TELECOMUNICAZIONI dovranno sostenere una prova da 1 credito che consisterà in un progettino da eseguire in Matlab. Per costoro sono previsti incontri in presenza o a distanza con il docente per eventuali richieste di chiarimento sul progetto.

6. Le lezioni verranno registrate per facilitare chi inevitabilmente avrà sovrapposizioni d'orario, ma NON saranno trasmesse in streaming.

INTRODUZIONE AL CORSO DI SEGNALI PER LE COMUNICAZIONI

A.A. 2023-2024

claudio.prati@polimi.it

C. Prati, **Segnali e sistemi per le telecomunicazioni**, McGraw-Hill, **capitoli 1-7**

https://prati.faculty.polimi.it/

MATERIALE DIDATTICO DEL CORSO DI SEGNALI PER LE TELECOMUNICAZIONI :

Comunicazioni, materiale didattico di teoria, Laboratorio Matlab, Temi d'esame con soluzione dal 2008 https://prati.faculty.polimi.it/

MATERIALE DIDATTICO DEL CORSO DI SEGNALI PER LE TELECOMUNICAZIONI

COMUNICAZIONI

File progetto 2021 sullo stacking:

Progetto_stacking

Progetto_stacking_facilitato

Materiale didattico teoria

Formulario **a cura di** ***Federico Badini*** **e** ***Stefano Bodini***

Errori Formulario ***alcuni errori segnalati da Luca Guida (evidenziati in giallo)***

Predizione Coseno con fase iniziale casuale **a cura di** ***Daniele Grattarola***

Materiale didattico powerpoint

Probability Basics **Predizione e Incorrelazione**

Materiale didattico Matlab

Descrizione script Matlab

Numeri Complessi
Serie di Fourier **Serie di Fourier (senza cicli "for")** **Convoluzione** **ConvCos** **MediaMobile** **Chirp** **RispostaInFrequenza** **ModulazioneIQ**
SincPeriodico **Campionamento** **AliasCoseno** **AliasFrequenza** **Oversampling** **TrasformataDiscreta**
InterpFrequenza **InterpTempi** **Probabilty Density** **Sinusoidal Random Signals** **Linear Prediction**
Limite centrale **ISI** **Registratore** **InterpLineare** **ZeroPaddingElementare** **Power Spectral Density**
TrasmissioneBinariaAntipodale **ShiftSinc**

Laboratorio Matlab 2021

Testo PDF Laboratorio 1

Drawing_Signals
Numeri_complessi
Serie_Fourier

Testo PDF Laboratorio 2

Temi d'esame con soluzioni

2008

Appello 1.07.2008	PDF
Prova aggiuntiva 9.07.2008	PDF
Appello 18.07.2008	PDF
Appello 5.09.2008	PDF
Appello 4.02.2009	PDF

2009

Appello 6.07.2009	PDF
Appello 23.07.2009	PDF
Appello 04.09.2009	PDF
Appello 02.02.2010	PDF

2010

Appello 5.07.2010	PDF
Appello 20.07.2010	PDF
Appello 10.09.2010	PDF
Appello 03.02.2011	PDF

2011

Appello 01.07.2011	PDF
Appello 25.07.2011	PDF
Appello 09.09.2011	PDF
Appello 10.02.2012	PDF

2012

Prova 20.06.2012	PDF
Appello 04.07.2012	PDF
Appello 24.07.2012	PDF

I CONTENUTI DEL CORSO IN POCHE IMMAGINI

I **SEGNALI** sono rappresentazioni di misure di *grandezze fisiche* che evolvono in funzione di altre *grandezze indipendenti*.

Ad esempio la musica negli auricolari: Una *tensione elettrica* ai capi di dispositivo elettronico che evolve in funzione del *tempo:* $v(t)$

Ad esempio una fotografia digitale: una *quantità di fotoni* rilevata da un dispositivo elettronico (es: sensore CMOS) distribuita diversamente in funzione dello *spazio 2D:* $I(x,y)$

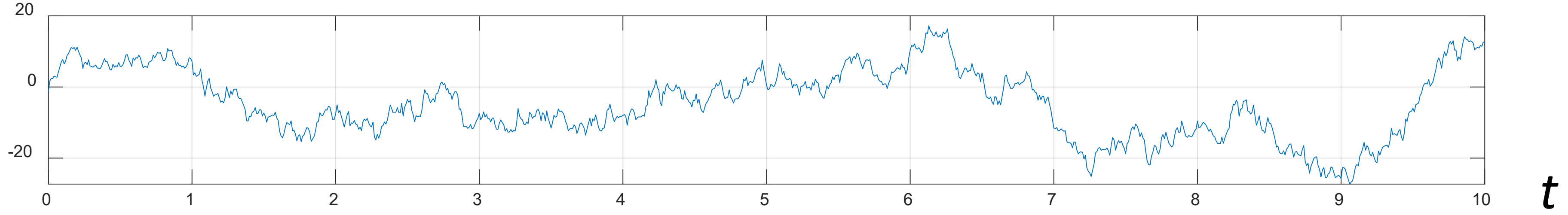
Segnali deterministici e casuali

I segnali **deterministici** sono rappresentati da funzioni il cui valore è noto per qualsiasi valore della variabile indipendente.
Si studiano con gli strumenti matematici studiati nei corsi di Analisi Matematica.

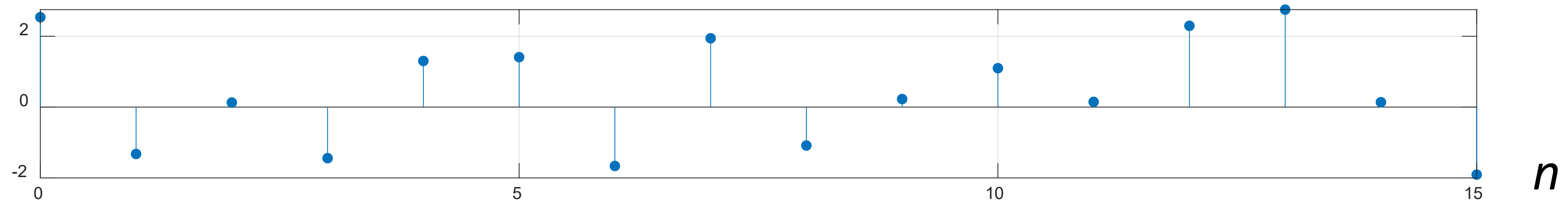
I segnali **casuali** sono rappresentati da funzioni il cui valore è noto solo in probabilità per qualsiasi valore della variabile indipendente.
Si studiano con gli strumenti matematici studiati nei corsi di Analisi Matematica e di Probabilità.

Le basi della teoria delle Probabilità verranno richiamate. *Più avanti metterò a disposizione un semplice mini corso di Probabilità formato da 5 videolezioni da 10 minuti ciascuna.*

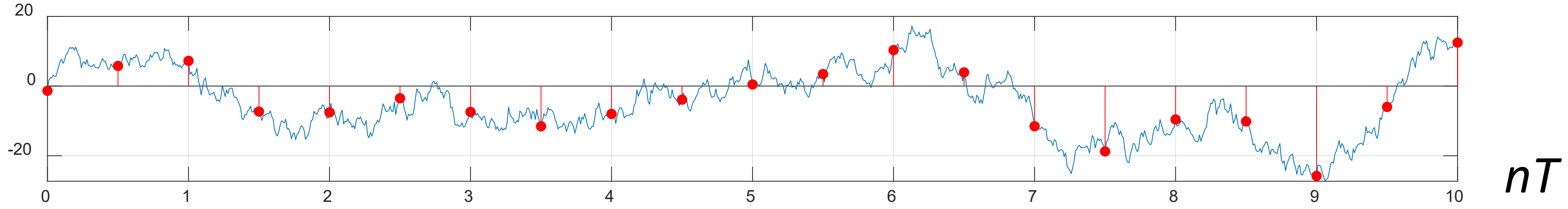
SEGNALI TEMPO-CONTINUI: segnali che dipendono da una variabile che può assumere valori reali con continuità



SEGNALI DISCRETI: segnali che dipendono da una variabile che può assumere solo valori interi spaziati ad intervalli regolari o meno.



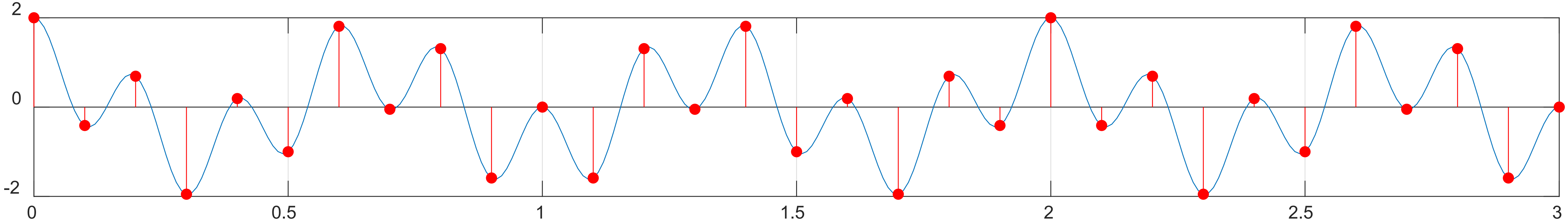
SEGNALI CAMPIONATI: segnali discreti ricavati da segnali tempo-continui misurati ad intervalli reali discreti.



Il teorema del campionamento

Ci dice con quale intervallo $\boldsymbol{T}$ occorre campionare un segnale tempo-continuo $\boldsymbol{x(t)}$ per non perdere informazione.

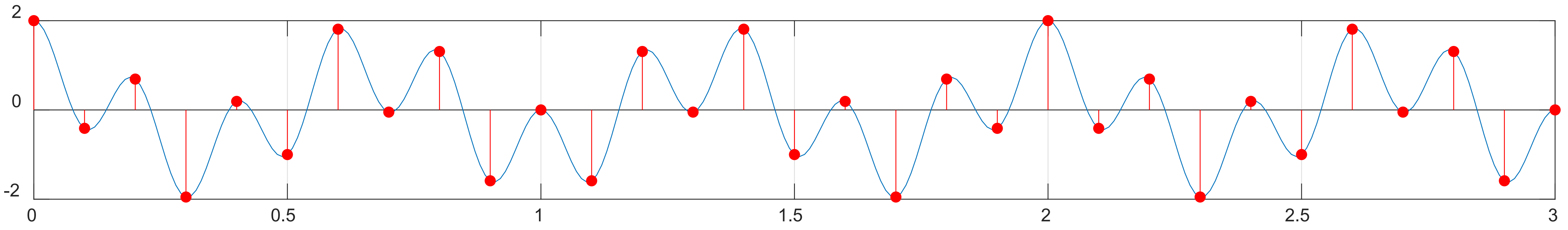
$\boldsymbol{T = 0.1s}$ *é sufficiente a non perdere informazione*



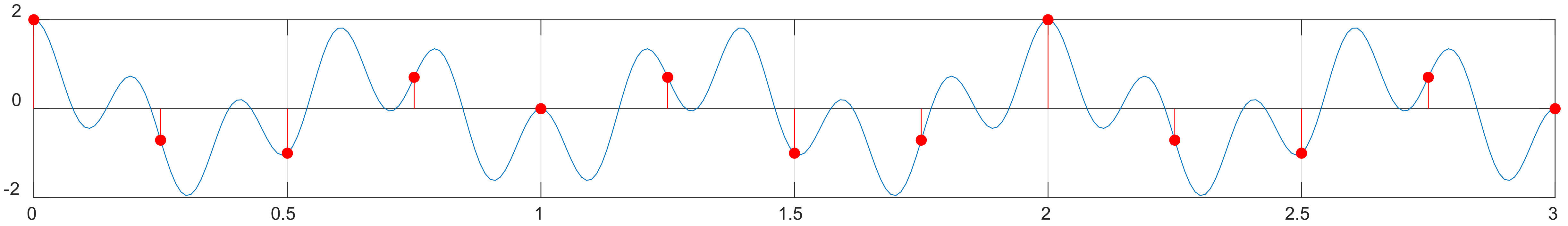
Il teorema del campionamento

Ci dice con quale intervallo $\boldsymbol{T}$ occorre campionare un segnale tempo-continuo $\boldsymbol{x(t)}$ per non perdere informazione.

$\boldsymbol{T = 0.1s}$ *é sufficiente a non perdere informazione*

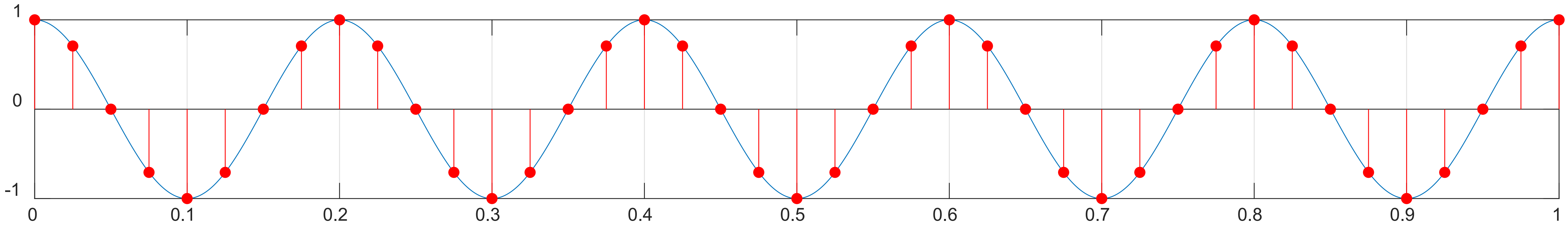


Con $\boldsymbol{T = 0.25s}$ *si perde informazione*



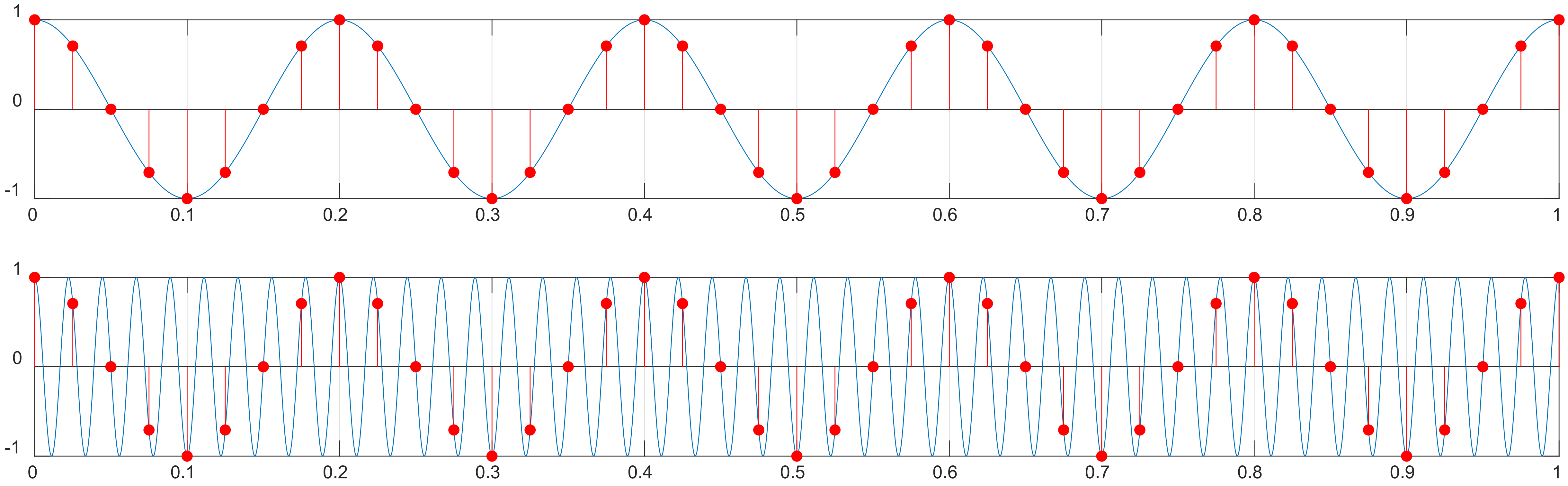
<u>ALIAS (equivocazione) in frequenza</u>

Ci sono *infiniti segnali tempo-continui* associati ad uno stesso segnale campionato, ma *solo uno che rispetta il teorema del campionamento.*

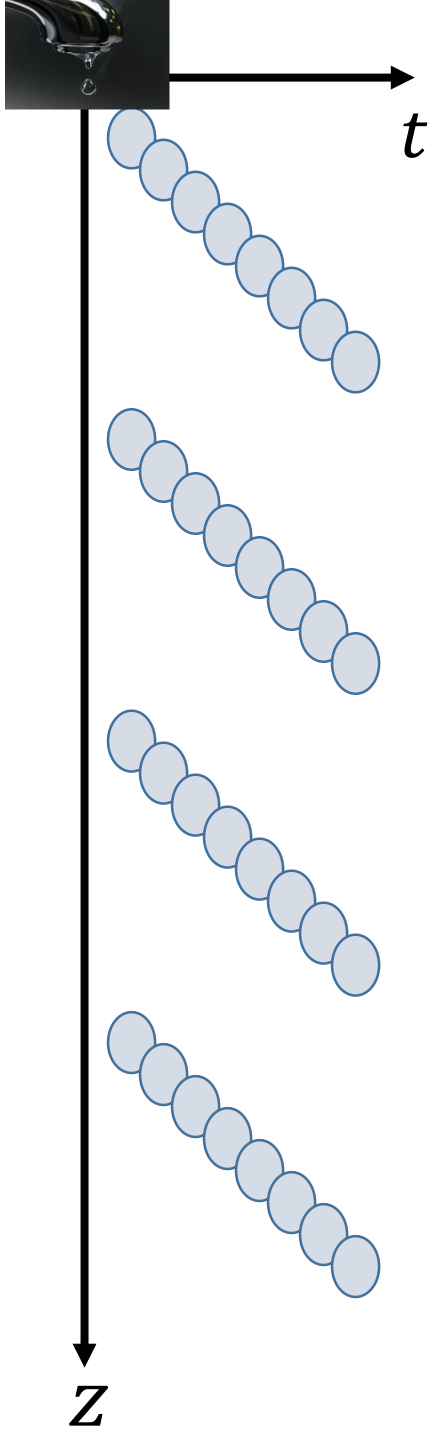


ALIAS (equivocazione) in frequenza

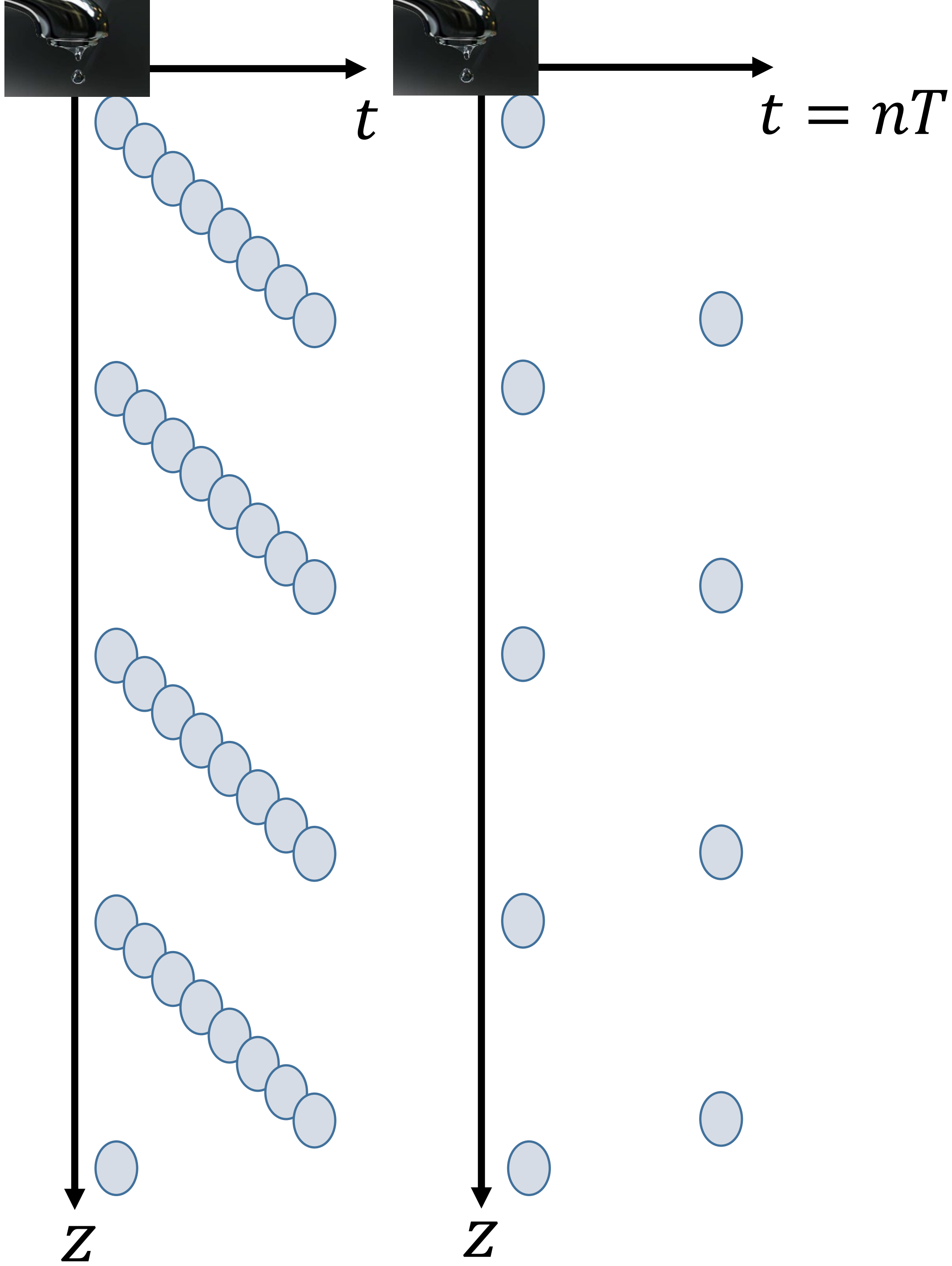
Ci sono *infiniti segnali tempo-continui* associati ad uno stesso segnale campionato, ma *solo uno che rispetta il teorema del campionamento.*

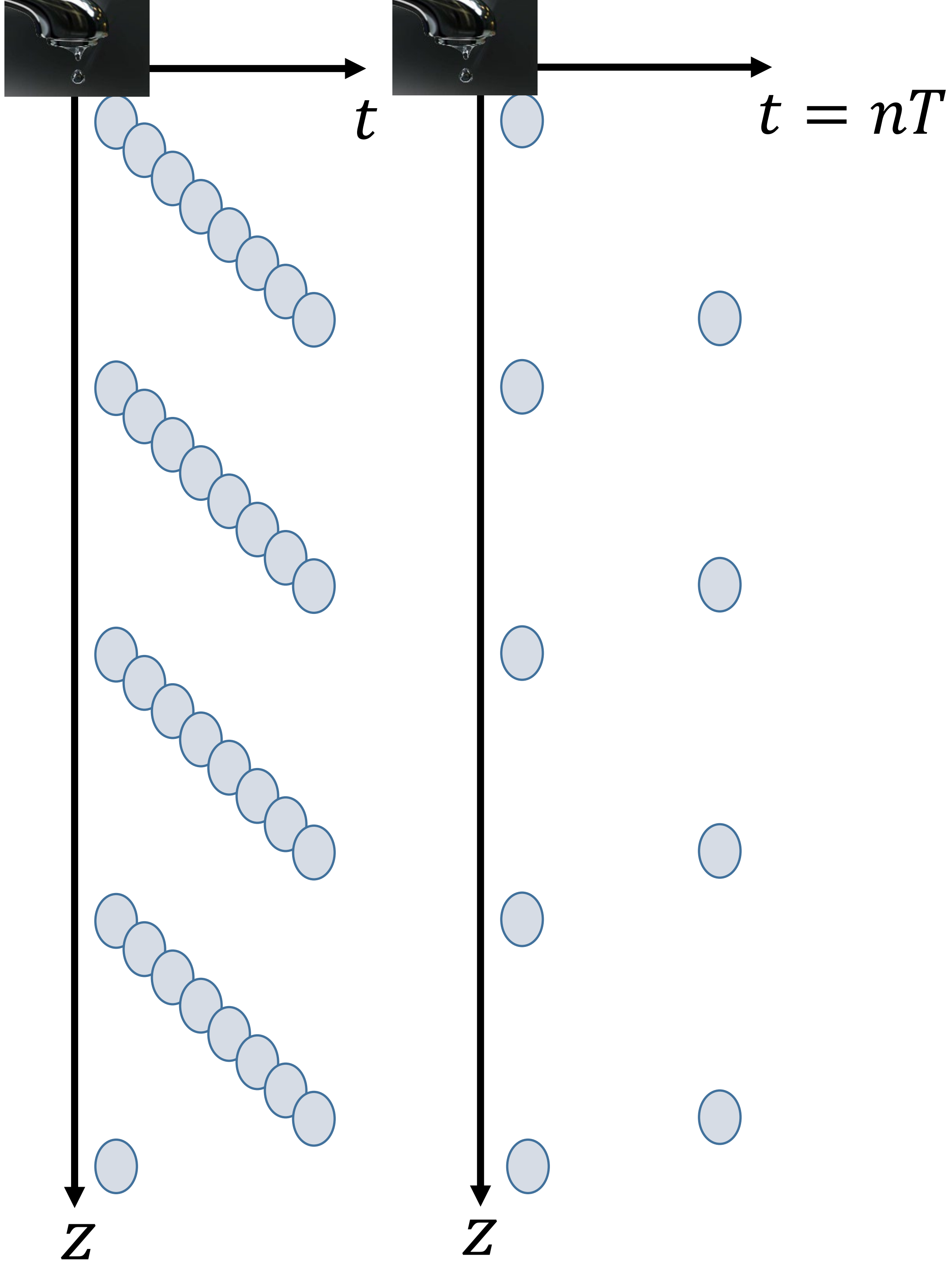


<u>Invertiamo la freccia del tempo</u>: gocce d'acqua in un campo antigravitazionale



<u>Invertiamo la freccia del tempo</u>: gocce d'acqua in un campo antigravitazionale





t
t = nT
Z
Z

Nello studio dei segnali utilizzeremo molto spesso la notazione complessa

$$a + ib = \rho e^{j\varphi}$$

Cartesiana o Polare

…non perché sia necessaria, ma perché molto più compatta e semplice per fare i calcoli quando ci sono in gioco funzioni trigonometriche

$$e^{j\varphi} = \cos\varphi + i \sin\varphi$$

Studieremo gli strumenti necessari a trattare i segnali continui e discreti sia nel loro dominio naturale (tipicamente il tempo o lo spazio), sia nel dominio della frequenza.

Il passaggio dal dominio del tempo a quello della frequenza e viceversa, si ottiene grazie ad una particolare trasformazione matematica: la cosiddetta Trasformata di Fourier.

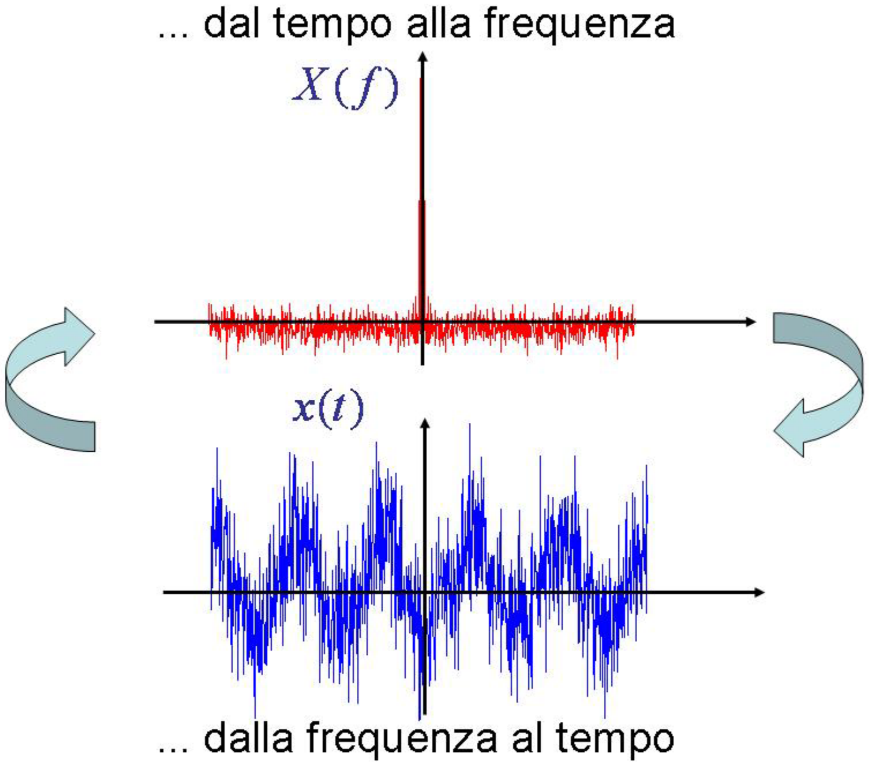
... dal tempo alla frequenza

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\, \exp\{-j2\pi\, ft\}\, dt$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) \exp\{j2\pi\, ft\}\, df$$

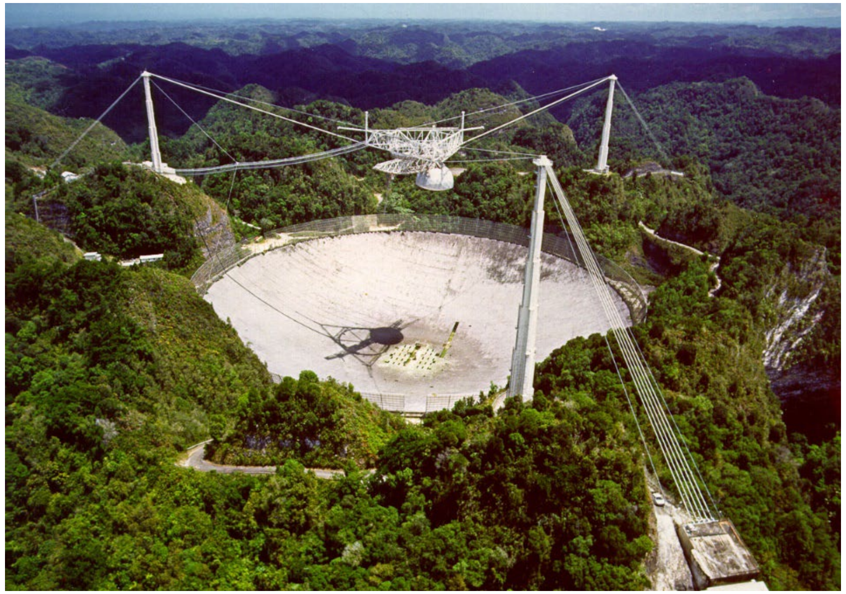
... dalla frequenza al tempo

Una volta rappresentato il segnale nel dominio della frequenza è spesso possibile evidenziarne caratteristiche che sono difficilmente individuate nel tempo.

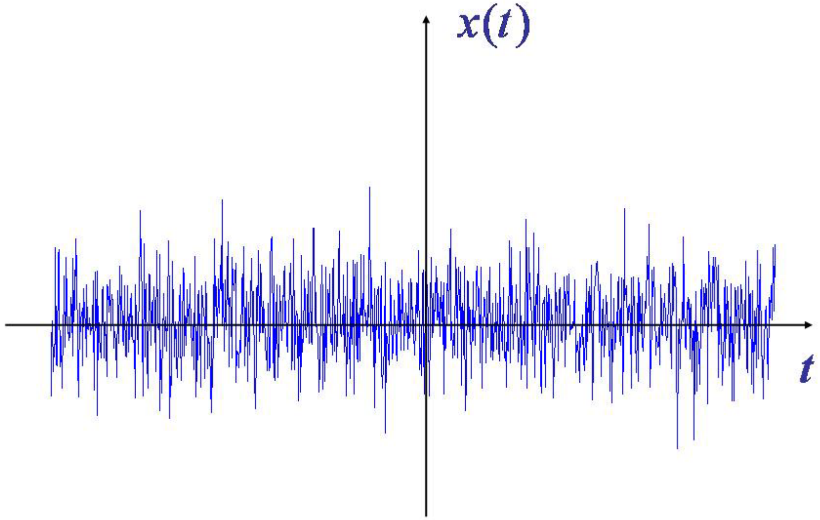


Se consideriamo, ad esempio, un debolissimo segnale radio proveniente da una stella lontana

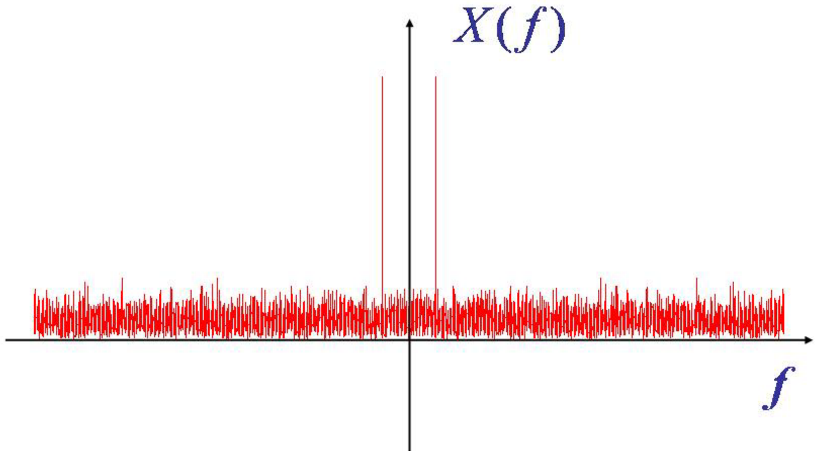
ricevuto da un radiotelescopio…



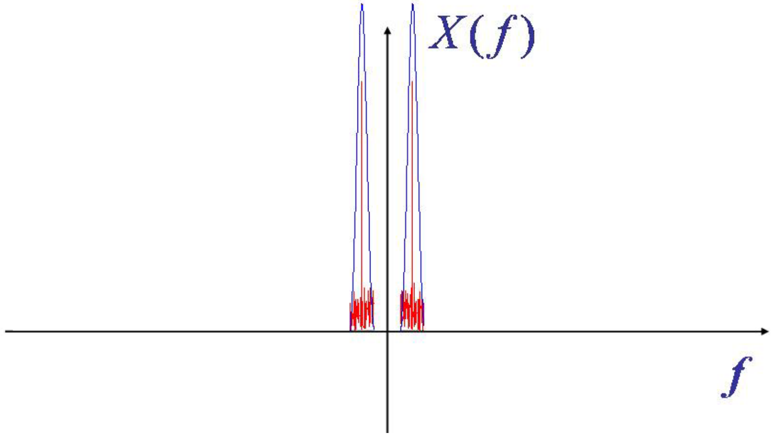
… questo sarà completamente "coperto" dal rumore uniforme di fondo e quindi risulterà invisibile nel tempo.



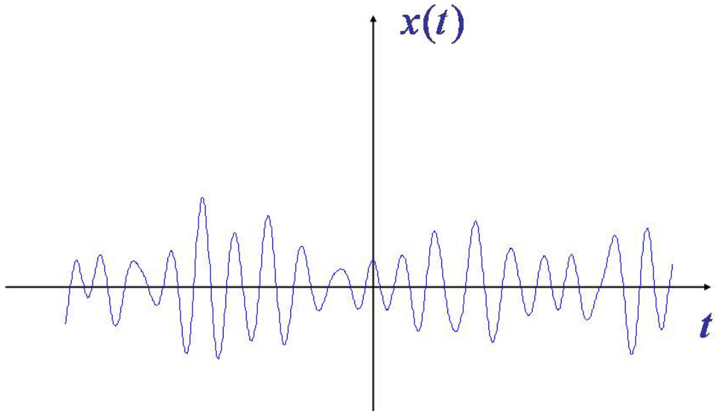
Tuttavia, passando nel dominio della frequenza, si nota chiaramente un picco spettrale svettare sul rumore di fondo che è uniforme anche in frequenza.



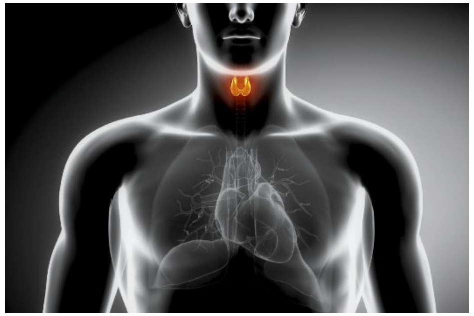
E' immediato eliminare la maggior parte del rumore di fondo mantenendo inalterato il picco spettrale con una semplice moltiplicazione in frequenza.



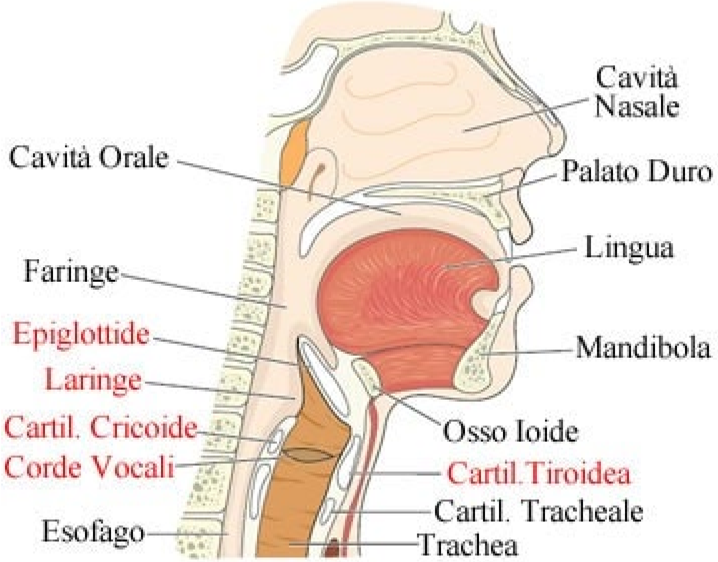
Ritornando poi nel dominio del tempo, si ottiene una versione del segnale ripulita dal rumore di fondo.



GENERAZIONE DELLA VOCE E DEL CANTO



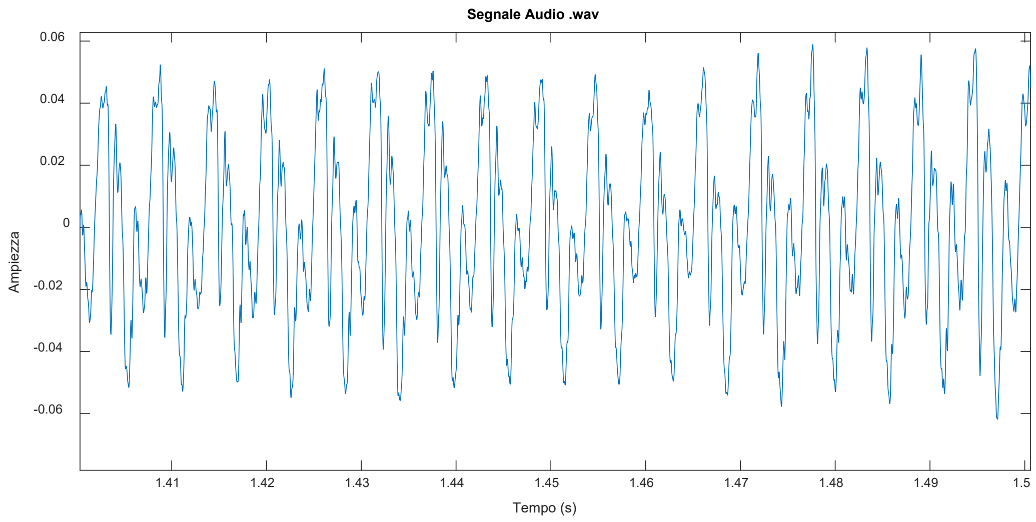
Corde Vocali: Vibrazioni regolate da tensione, lunghezza e massa determinano la frequenza fondamentale (pitch).

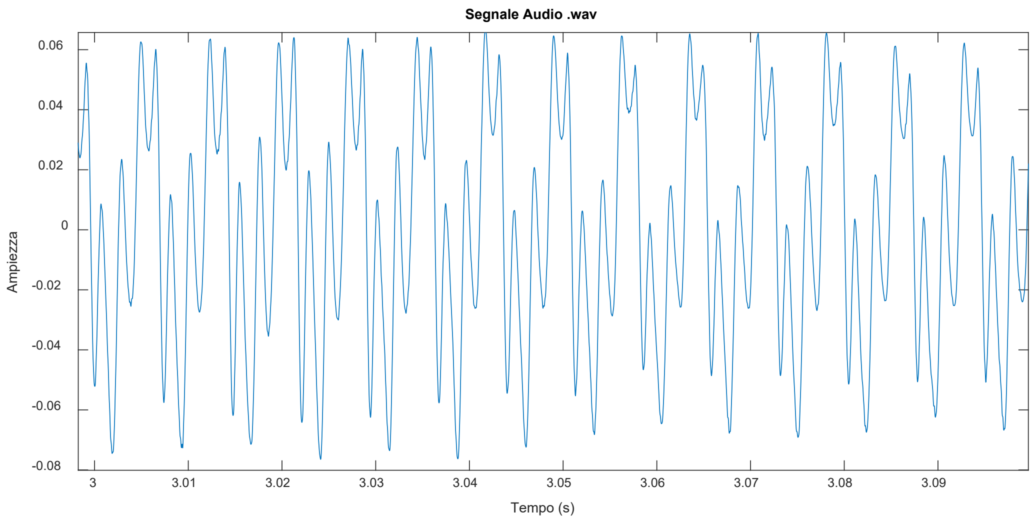


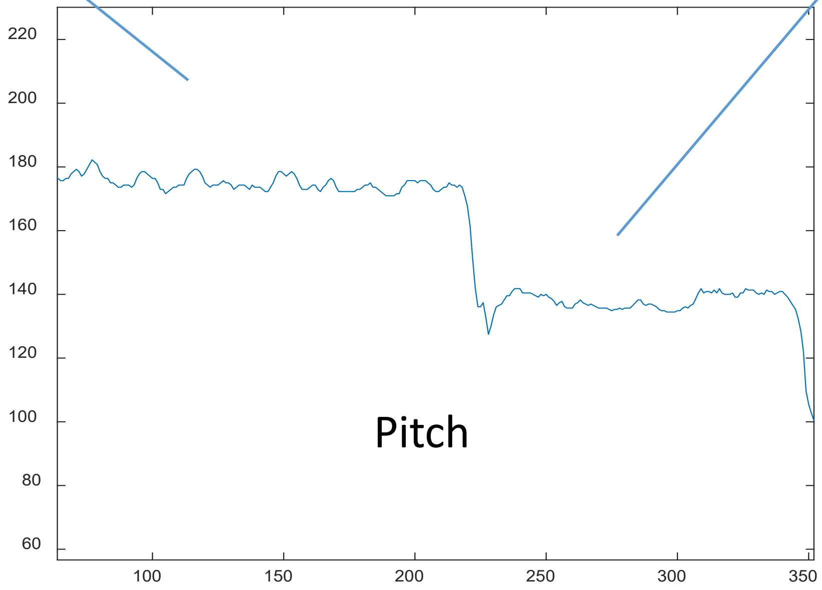
Glottide: È l'apertura tra le corde vocali; la sua modulazione (apertura/chiusura) è cruciale per la produzione del tono.

Cavità orale e nasale, lingua, labbra, danno origine ai vari suoni del parlato e del canto.

Una **variazione intenzionale** della frequenza di pitch risulta regolare, mentre una **stonatura** si distingue per la sua incoerenza e deviazione dal percorso melodico atteso.

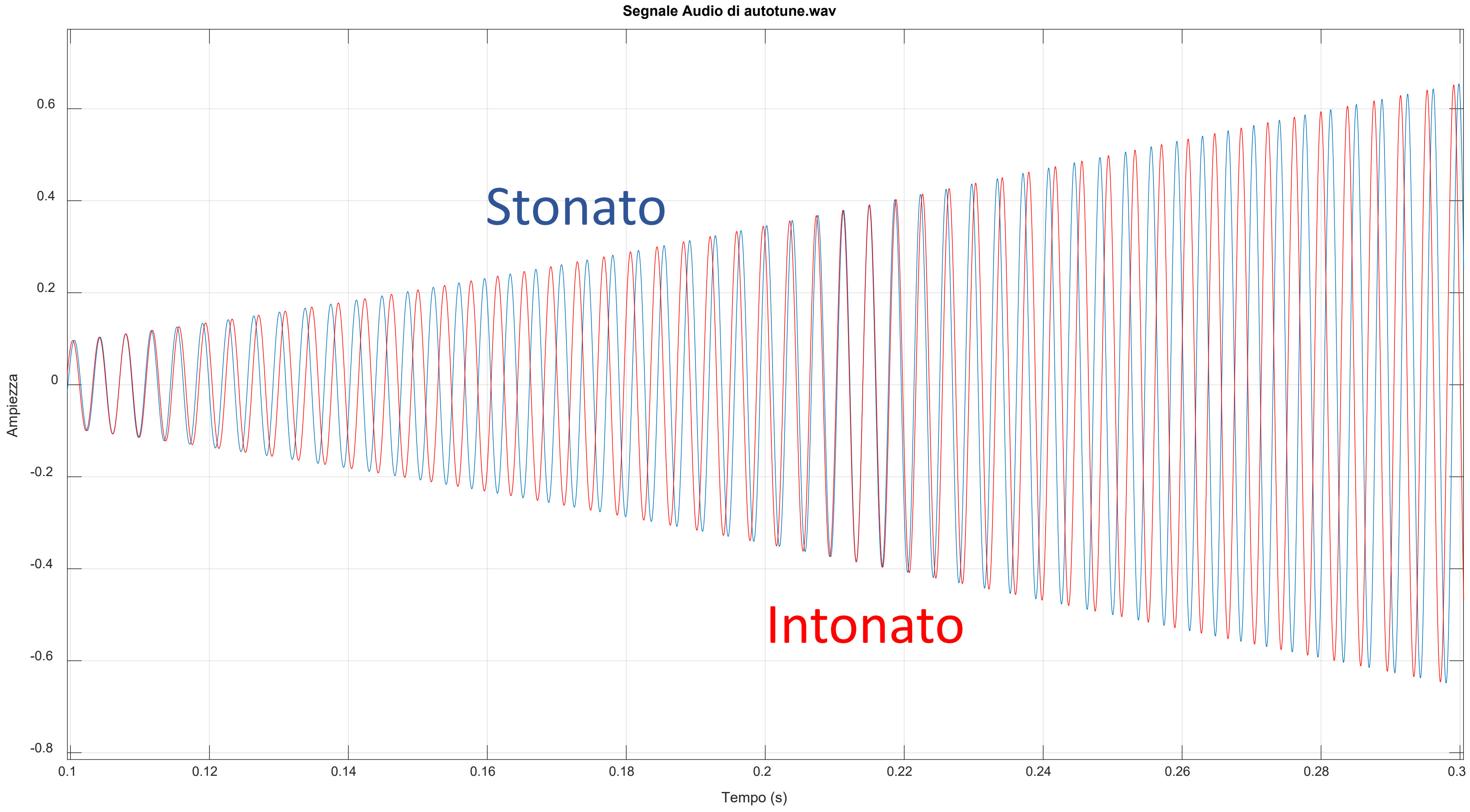






STIMA SPETTRALE

AUTOTUNE



DEFORMAZIONE DELL’ASSE TEMPORALE (INTERPOLAZIONE)

L’esempio dello «stacking» nella fotografia terrestre

Somma di 16 fotografie riprese con cellulare a mano libera

Allineamento delle immagini e riduzione del «rumore»


POLITECNICO
MILANO 1863


POLITECNICO
MILANO 1863

<u>Rumore</u>: segnale noto solo in *probabilità* i cui valori non sono deterministicamente noti (come nel caso di una fotocamera digitale).

<u>Tecnica base per la riduzione del rumore</u>: somma di tante immagini indipendenti dello stesso soggetto.

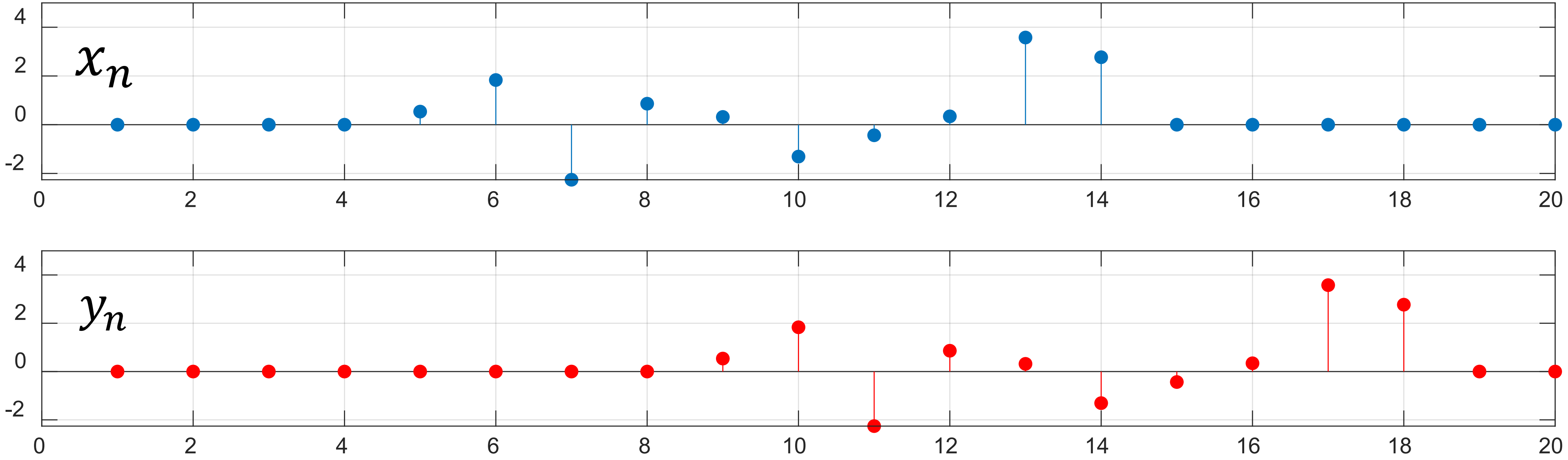
Nella somma di *N* immagini indipendenti dello stesso soggetto $I_n(x,y) = s_n(x,y) + r_n(x,y)$

Il segnale $s_n(x,y)$ si «*somma in tensione*» e la sua energia vale $\left(\sum_{n=1}^{N} s_n(x,y)\right)^2$

Il rumore $r_n(x,y)$ si «*somma in potenza*» e la sua energia vale $\sum_{n=1}^{N} \left(r_n(x,y)\right)^2$

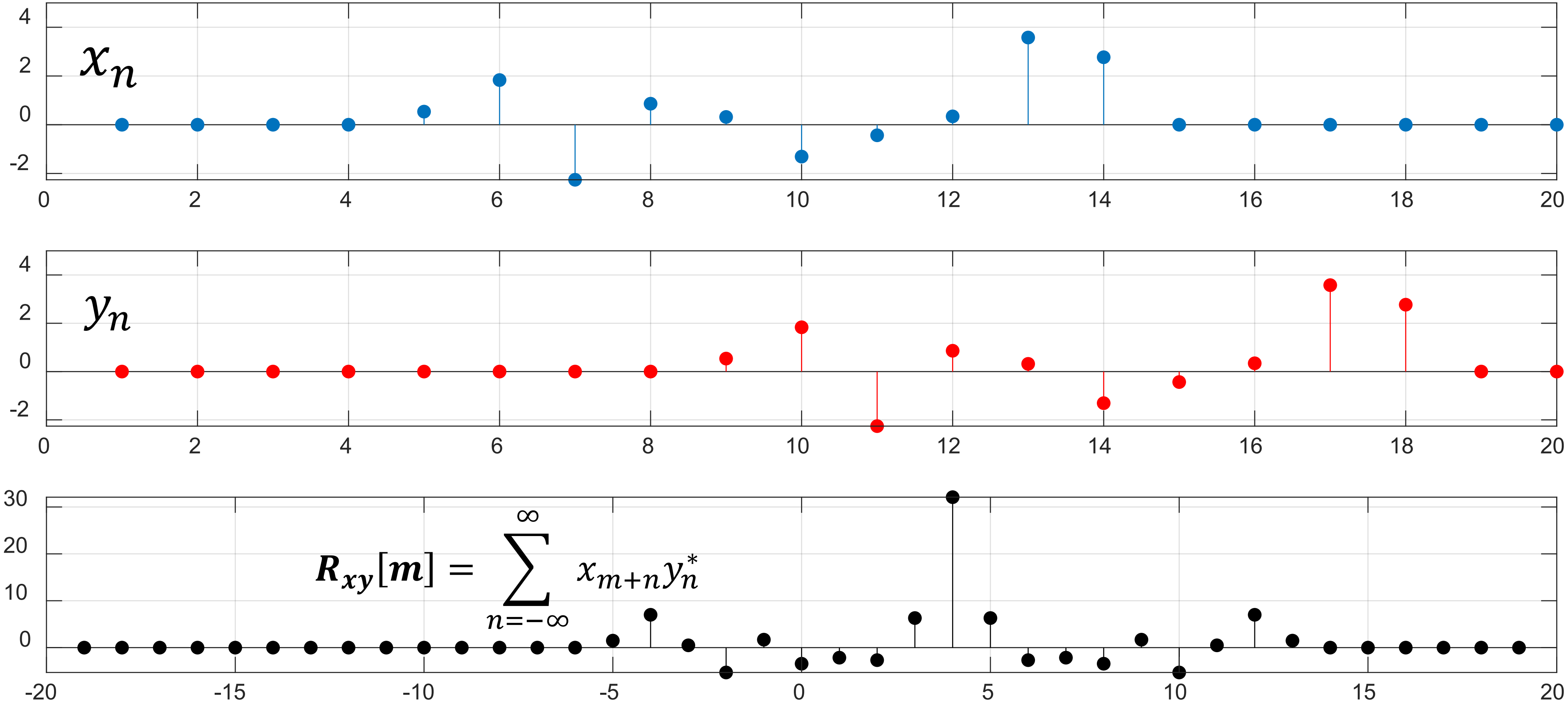

POLITECNICO
MILANO 1863

La cross-correlazione $R_{xy}[m]$ di 2 segnali x_n e y_n è una funzione che presenta un massimo in corrispondenza dello spostamento relativo dei 2 segnali



$$R_{xy}[m] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_{m+n} y_n^*$$

La cross-correlazione $\boldsymbol{R_{xy}[m]}$ di 2 segnali x_n e y_n è una funzione che presenta un massimo in corrispondenza dello spostamento relativo dei 2 segnali




POLITECNICO
MILANO 1863


POLITECNICO
MILANO 1863


POLITECNICO
MILANO 1863

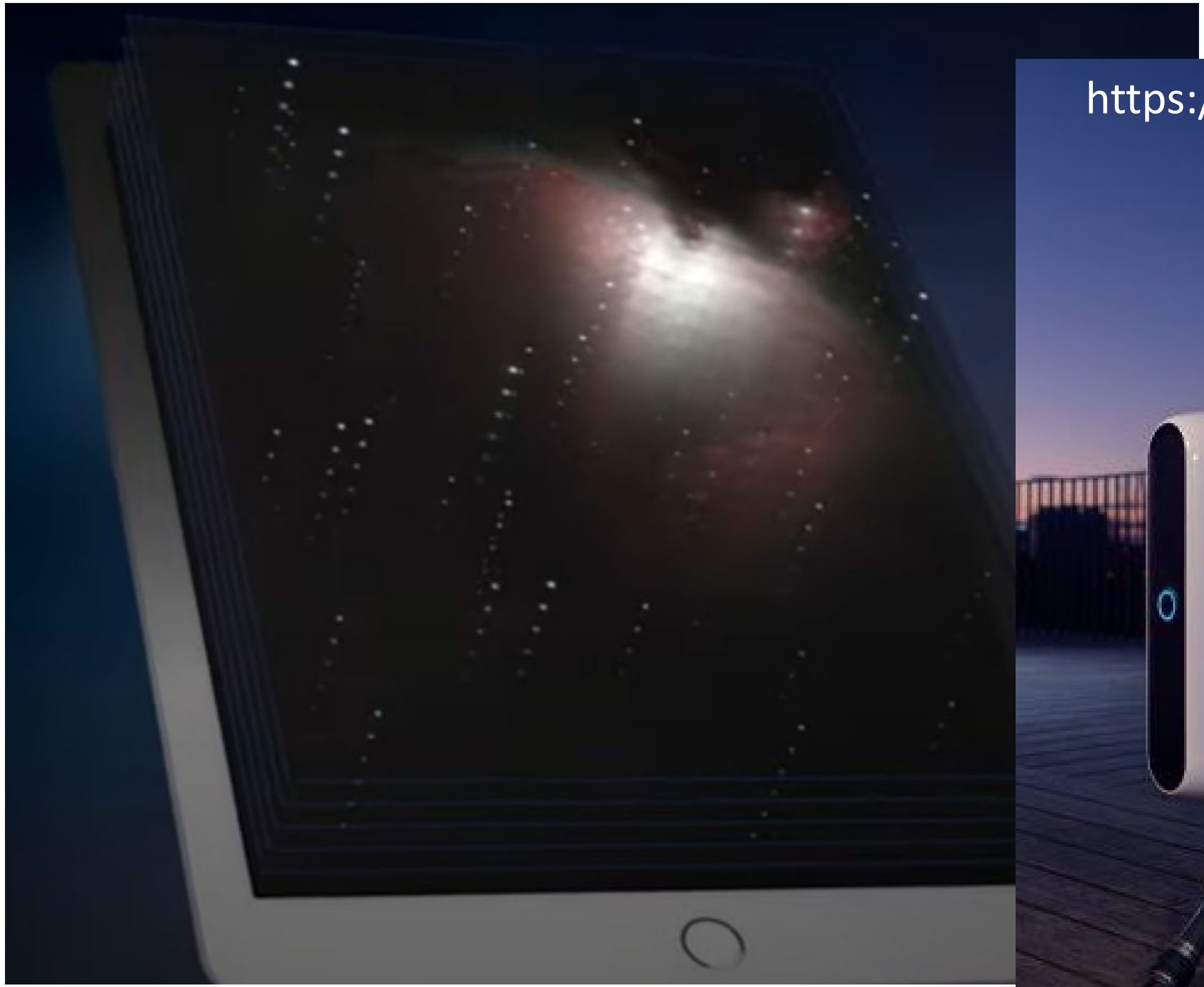
L’esempio dello «stacking» nella fotografia astronomica

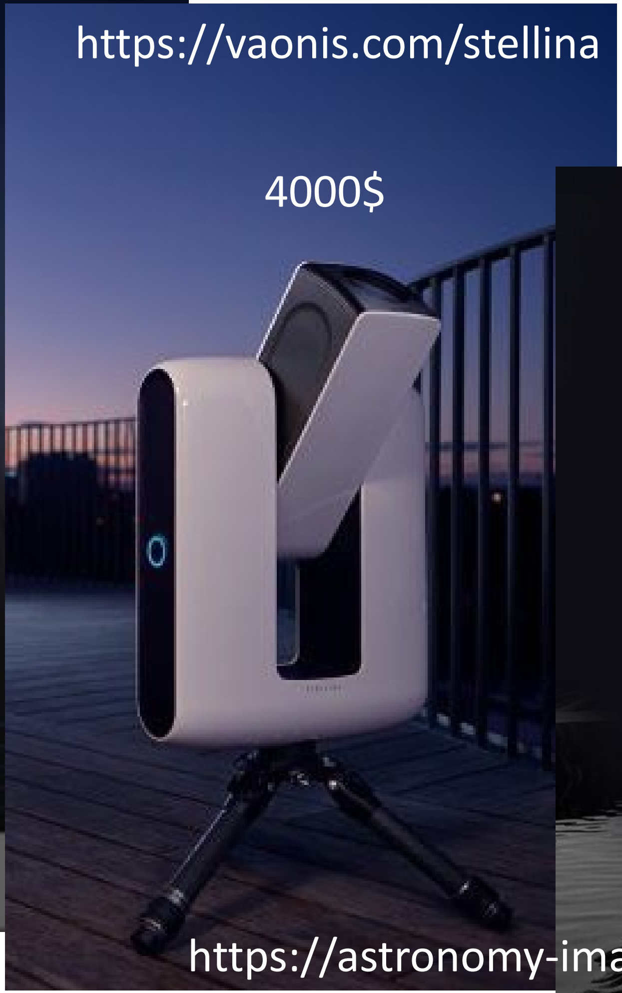
Somma di N fotografie riprese con macchina fotografica su cavalletto fisso o con compensazione del moto terrestre

Allineamento delle immagini e riduzione del «rumore»

L’esempio dello «stacking» nella fotografia astronomica

Somma di N fotografie riprese con fotocamera su cavalletto con compensazione del moto terrestre





https://vaonis.com/stellina

4000$

600$

https://astronomy-imaging-camera.com/product/zwo-seestar/


The Spiral M83
SHOT WITH STELLINA

L’esempio dello «stacking» nella fotografia astronomica

Somma di 11 fotografie riprese con macchina fotografica su cavalletto fisso

[Allineamento delle immagini e riduzione del «rumore»]

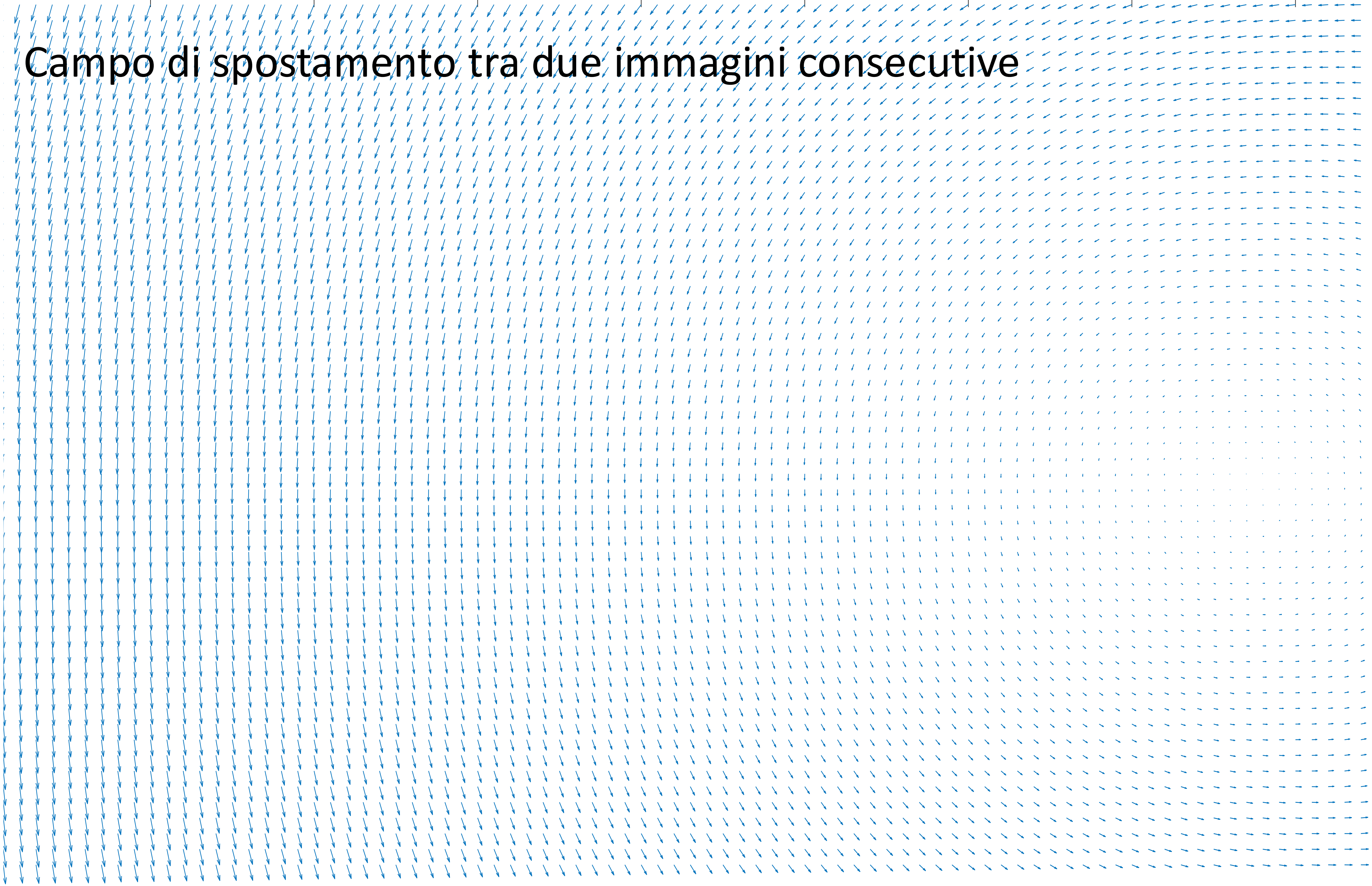
Singola immagine fotografata con grande apertura e tempi brevi

Somma di 11 immagini riprese a distanza di circa 1 minuto una dall’altra

Lo spostamento varia nello spazio

Un oggetto luminoso apparentemente fermo nello spazio

Campo di spostamento tra due immagini consecutive



Campo di spostamento tra due immagini consecutive

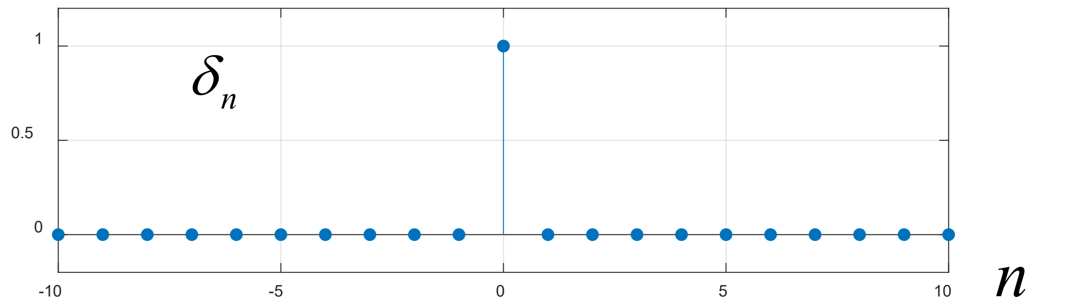
Singola immagine fotografata con grande apertura e tempi brevi

Somma di 11 immagini dopo aver compensato gli spostamenti relativi: «STACKING»

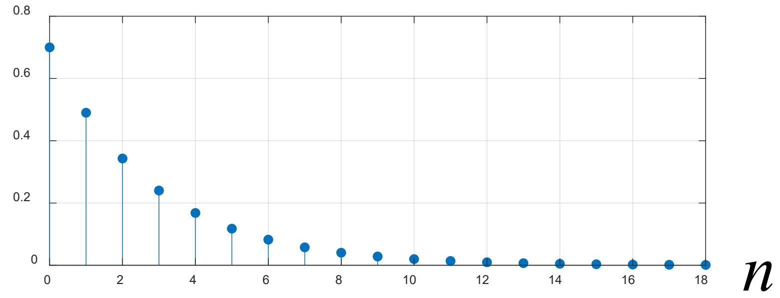
Modificare un segnale

La **convoluzione** (simbolo $*$) tra un segnale $\boldsymbol{x}$ e la **risposta all'impulso** $\boldsymbol{h}$ di un **sistema Lineare Tempo-Invariante** serve a modificare alcune caratteristiche del segnale che diventa $\boldsymbol{y} = \boldsymbol{x} * \boldsymbol{h}$

Impulse $\delta_n = \begin{cases} 1 & n = 0 \\ 0 & n \neq 0 \end{cases}$



Impulse response $\delta_n \longrightarrow \boxed{\text{LTI}} \longrightarrow h_n$



Convolution $\boxed{y_n = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x_k \cdot h_{n-k}} \Rightarrow \boxed{y_n = x_n * h_n}$

L’esempio dell’eliminazione di dettagli nelle fotografie

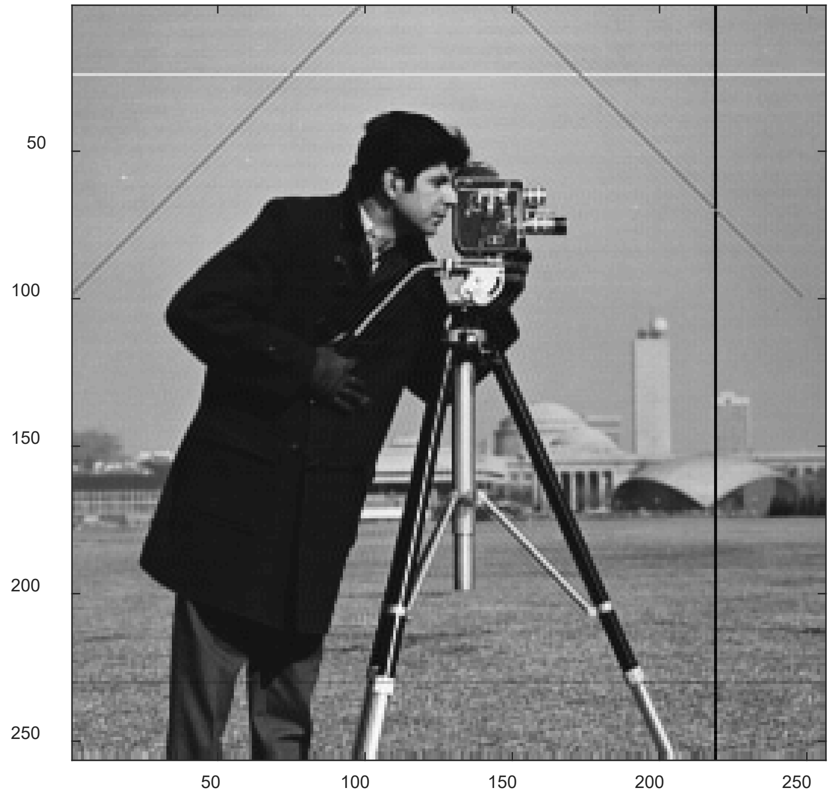
Generazione di un «filtro arresta_banda» nel dominio delle frequenze (trasformata di Fourier del segnale)

$$H_k = \sum_{n=0}^{N-1} h_n e^{-i2\pi\frac{nk}{N}}$$

e applicazione all’immagine nel dominio spaziale (convoluzione)

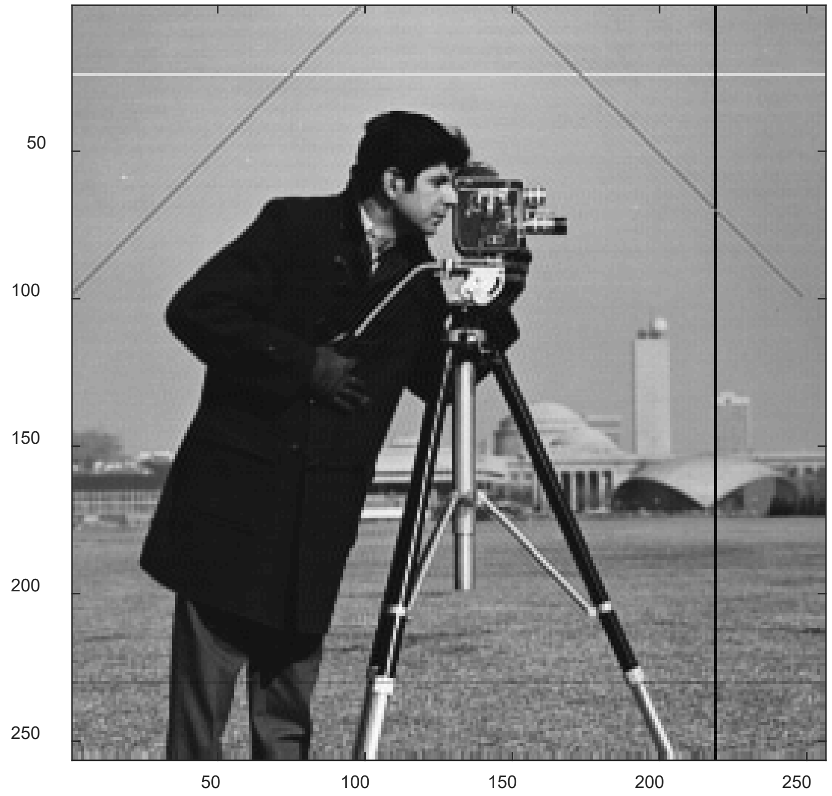
Immagine originale

Eliminazione dettagli con estensione orizzontale



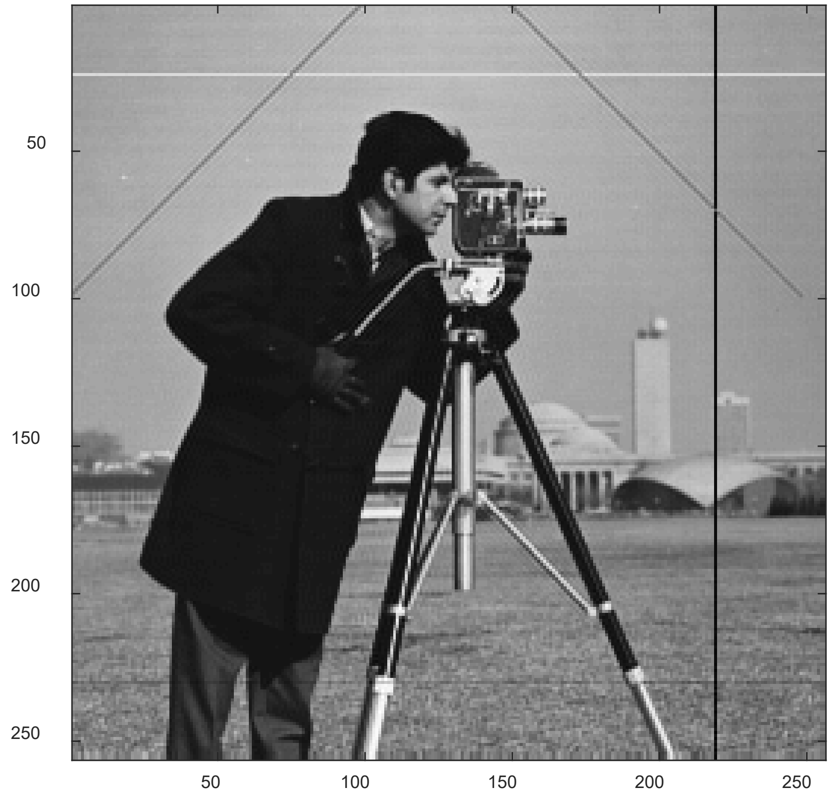
$$y = x * h1$$

Eliminazione dettagli con estensione orizzontale



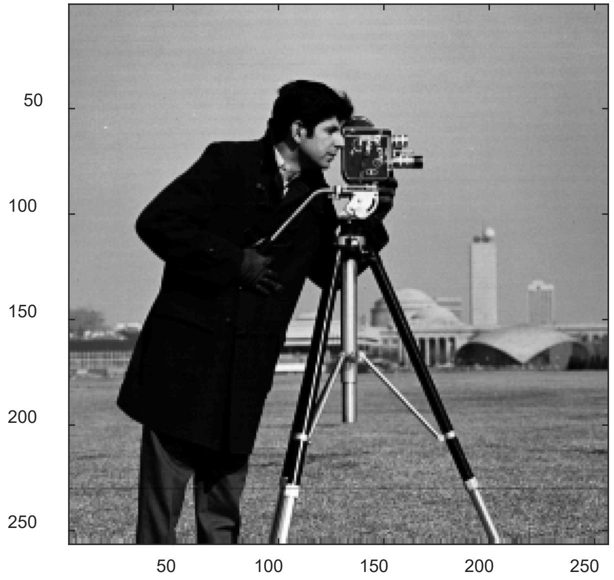
$$y = x * h1$$

Eliminazione dettagli con estensione verticale



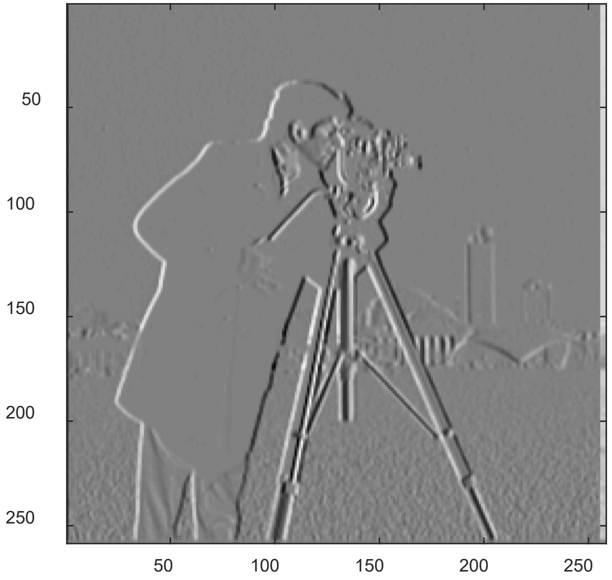
$$y = x * h2$$

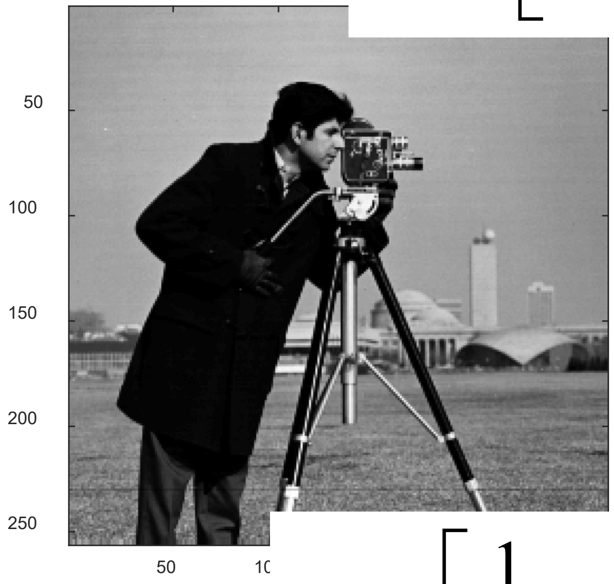
Generazione di un «filtro passa-alto» nel dominio spaziale e generazione dei contorni



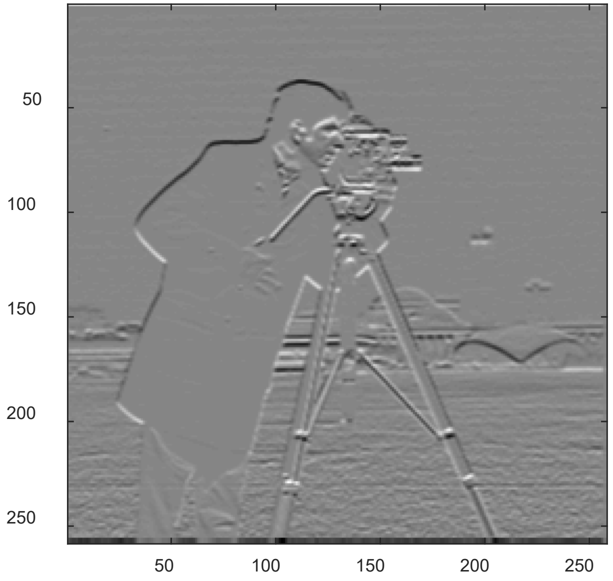
Generazione di un «filtro passa-alto» nel dominio spaziale e generazione dei contorni

$$K_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



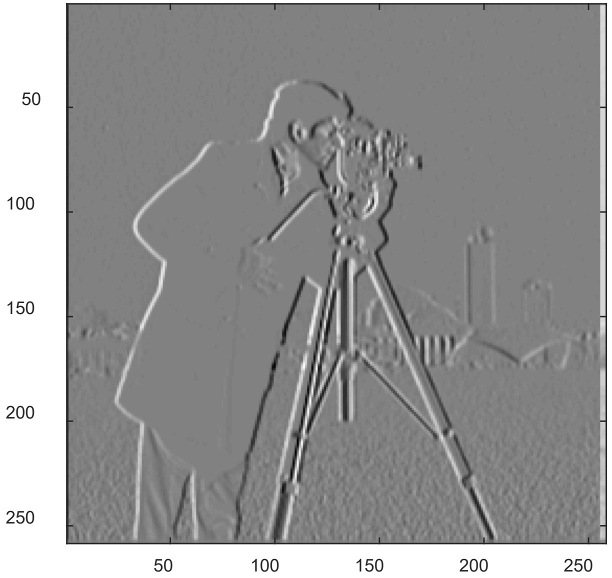


$$K_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

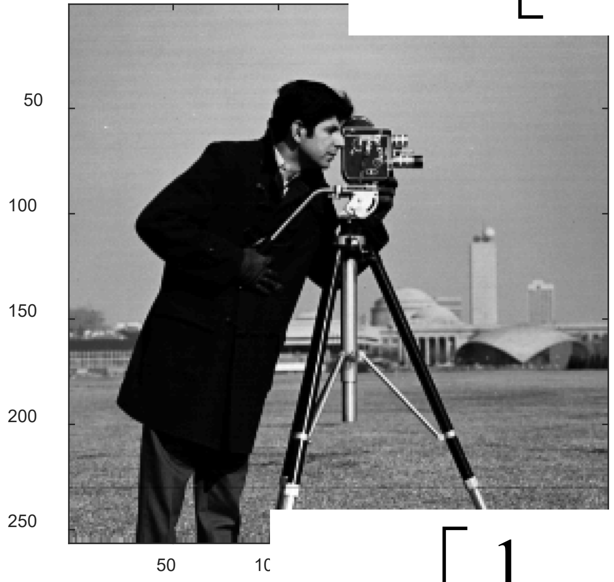


Generazione di un «filtro passa-alto» nel dominio spaziale e generazione dei contorni

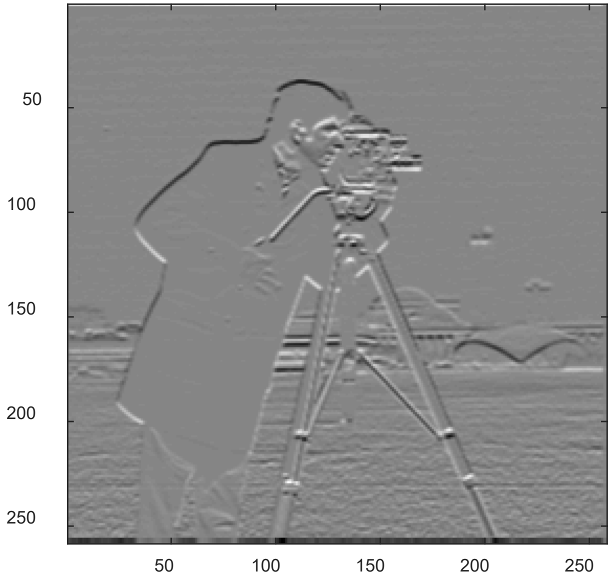
$$K_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

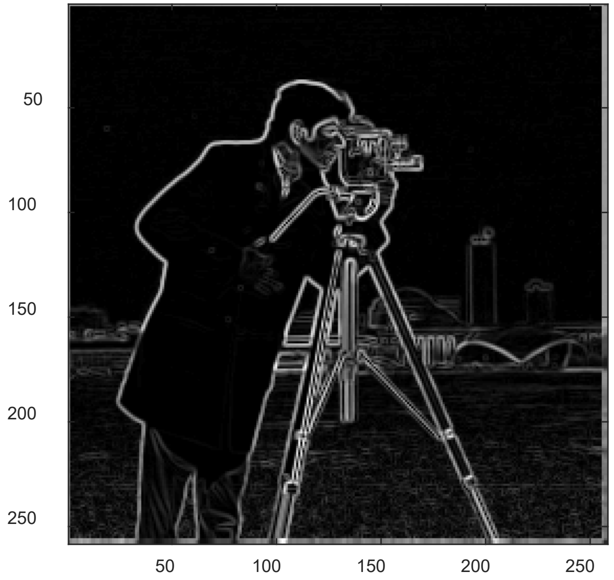


$$|G(x,y)| = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}$$

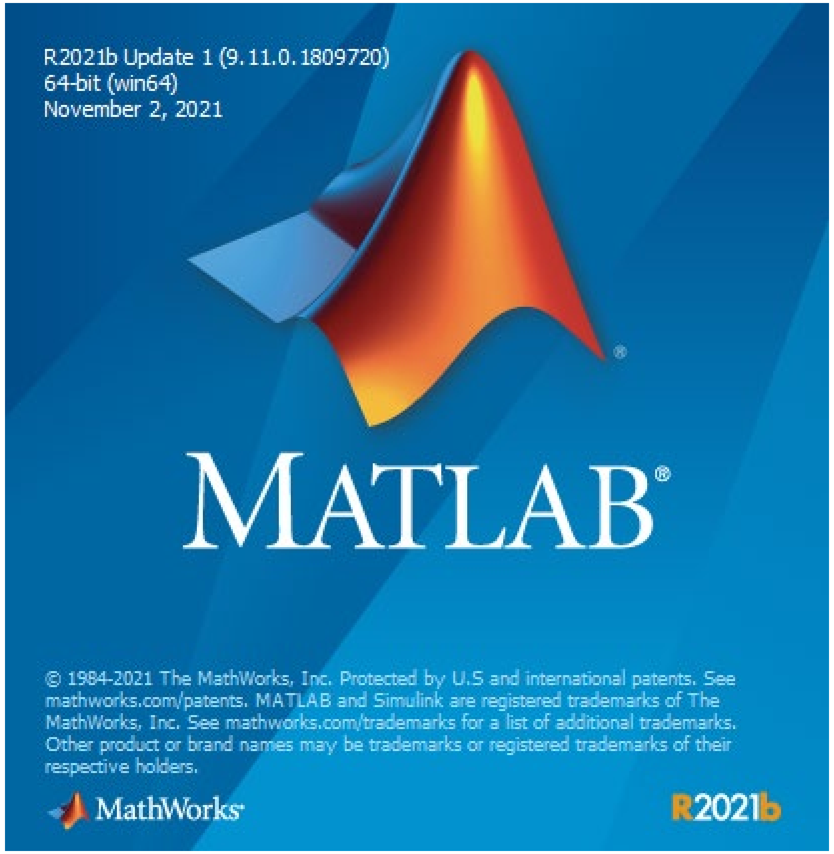


$$K_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$





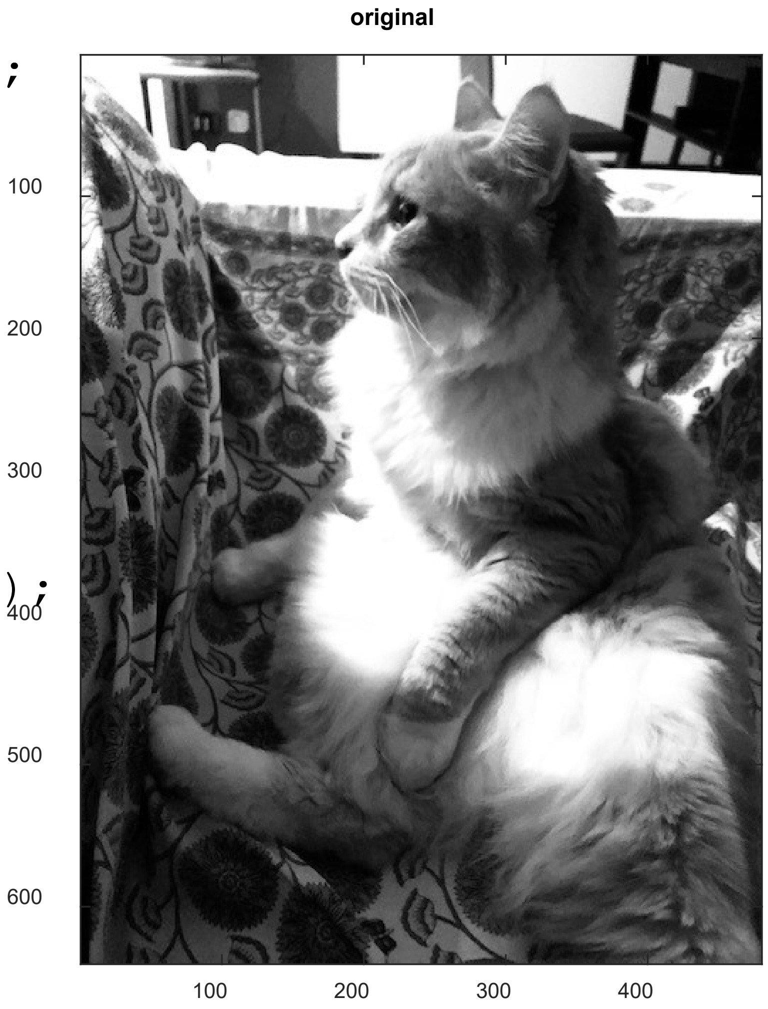
Usare Matlab per sperimentare e capire con la pratica quanto visto in teoria

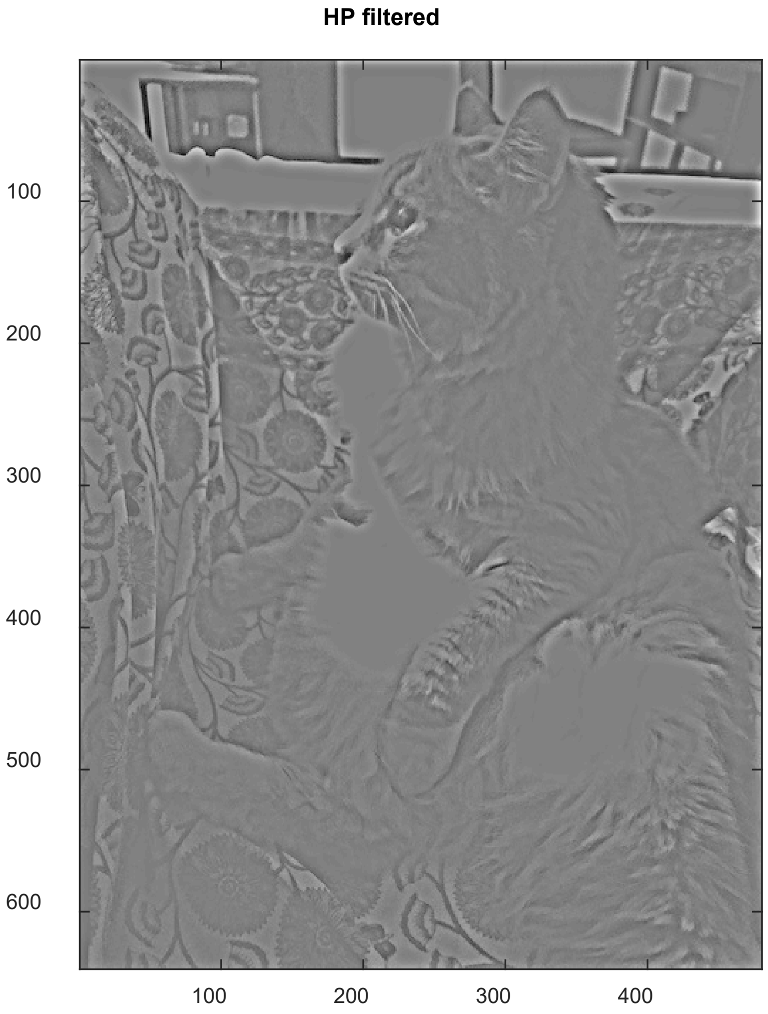


```
%-----------------------------------------------------------
% Let us apply the 2D high-pass filter to the original image
%-----------------------------------------------------------
```

```
IMAGE=imread('gatto.jpg');
X=IMAGE(:,:,1);
figure(1)
imagesc(X)
gray
axis('image')
title('original')


XHP=conv2(X,hHP_2D,'same');
figure(2)
imagesc(XHP)
colormap gray
axis('image')
title('HP filtered')
```





Studieremo solo segnali «fisicamente realizzabili» per i quali non esistono restrizioni all’applicabilità di molte operazioni matematiche.

Ad esempio per noi sarà sempre lecito derivare sotto il segno d’integrale o, come diceva il geniale e simpatico fisico Richard Feynman sulla trasformata di Fourier:

In what circumstances can a curve be represented as a sum of a lot of cosines?

Answer: In all ordinary circumstances, except for certain cases the mathematicians can dream up. Of course, the curve must have only one value at a given point, and it must not be a crazy curve which jumps an infinite number of times in an infinitesimal distance, or something like that. But aside from such restrictions any reasonable curve (one that a singer is going to be able to make by shaking her vocal cords) can always be compounded by adding cosine waves together

Passeremo dal continuo al discreto e viceversa per semplificare la trattazione teorica.

Estenderemo poi i risultati da un dominio all'altro.

Ad esempio ricavare l'espressione della *convoluzione* è molto più semplice per i segnali discreti, mentre l'introduzione della *Trasformata di Fourier* è più semplice per i segnali continui.