

## Note di rilascio all'edizione 1.6

Questa edizione viene per una volta resa disponibile in corrispondenza dell'inizio delle lezioni (al secondo semestre) direttamente in copisteria, e non a mezzo stampa on-demand. L'edizione a stampa sarà la prossima, che includerà anche i miglioramenti la cui necessità sarà emersa durante lo svolgimento delle lezioni di quest'anno. L'elenco che segue riporta le modifiche in cui la presente edizione 1.6 differisce rispetto alla 1.5.

- Inserite le correzioni riportate nella errata corregge presso <http://infocom.uniroma1.it/alef/libro/errata/errata1.5.pdf>; adottata come immagine di copertina quella *più chiara* che nella ed. 1.5 era usata per il libro su seconda e terza parte; spostato il capitolo sulla codifica multimediale dalla prima alla terza parte, e quello sulle prestazioni per modulazione analogica dalla seconda alla prima parte;
- a riguardo dell'*analisi di Fourier*, sono approfonditi i concetti di ortogonalità tra esponenziali complessi e quelli attinenti all'algebra vettoriale, come l'applicabilità su campo  $\mathbb{R}$  o  $\mathbb{C}$ , le proprietà del prodotto scalare, la necessità che i vettori della base siano linearmente indipendenti; operata una suddivisione in paragrafi. La disuguaglianza di Schwartz è stata completamente riscritta, ora c'è tutta la dimostrazione, viene definito il coseno tra vettori-segnali, e definito il prodotto scalare sia per segnali di energia che di potenza. Qualche revisione anche sulla definizione di energia mutua, e densità di energia;
- nel cap. sulla *probabilità* si è aggiunta una sottosezione relativa alle variabili aleatorie multivariate, di cui si definiscono e adattano i concetti di d.d.p., distribuzione, d.d.p. marginale e condizionata, introducendo quindi il vettore medio ed i momenti misti. Sono aggiunti esempio e figura di gaussiana bidimensionale, con vista 3D, frontale e laterale, curve di livello, ed inserito il rimando alla forma quadratica, evidenziando che per v.a. indipendenti le ellissi isolivello della d.d.p. bivariata hanno gli assi paralleli a quelli del piano. Chiarito infine come calcolare gli elementi della matrice di covarianza per un processo gaussiano, ed aggiunto collegamento verso la stima di parametro;
- il cap. su *densità spettrale e filtraggio* è quello su cui si è concentrata una gran parte del lavoro di revisione:
  - nella sezione su *correlazione e covarianza* viene spiegata meglio la distinzione tra statistica di primo e di secondo ordine, esplicitato cosa si intende per legge di dipendenza lineare, inserito link ai momenti misti di v.a. multivariata ed alle medie temporali, soppressa la notazione  $\mathcal{R}_x(\tau)$  per il caso generale dei processi, reintrodotta

- invece per la media temporale, e quindi dichiarato che nel caso di processi ergodici, viene usata anche al posto del valore atteso. Evidenziato come autocorrelazione e intercorrelazione siano forme di prodotto scalare (a termini scambiati); esplicitata l'espressione dell'intercorrelazione per segnali di potenza e segnali periodici, migliorato il testo relativo alle traslazioni temporali, ed all'estensione temporale;
- la sezione sul *teorema di Wiener* assiste alla riformattazione della sua dimostrazione per segnali di potenza, e vede finalmente calcolata la densità di potenza dei segnali periodici, è *incredibile pensare che ancora non ci fosse!* Migliorata la trattazione relativa al processo armonico, spiegato che i suoi membri hanno tutti uguale  $\mathcal{P}(f)$  in quanto differiscono solo per traslazione temporale, e sviluppato il calcolo della  $\mathcal{P}(f)$ . Chiarito che la correlazione tra campioni di un processo gaussiano bianco limitato in banda è riferita ad istanti diversi. Sviluppata una nuova appendice che ospita la dimostrazione del teorema di Wiener per processi, tratta da *L. Couch*, un bel lavoro con disegno esplicativo. Migliorata l'esposizione relativa al processo dati ed alla sua densità spettrale, anche con l'aggiunta di un grafico che evidenzia come la componente a righe aumenti con la frequenza di simbolo;
  - la sezione sul *filtraggio* migliora i collegamenti con altri argomenti, introduce la densità di energia *del filtro*, e descrive l'energia in uscita come *mutua* tra quella di ingresso e quella del filtro; migliora l'esposizione anche per un segnale periodico, ed accorpa l'esercizio sul suo filtraggio; migliora la formattazione relativa al filtraggio di processi, con l'aggiunta di una figura all'esempio di cui si è migliorato il testo; elimina la nota 24, errata e confusionaria. A riguardo del *filtro adattato*, a scopo di chiarezza si è introdotta una separazione in paragrafi, migliorando e semplificando il testo, si è suddivisa una nota in due, ed è stato esplicitato come ottenere  $h_R(t)$  da  $h_T(t)$  con l'aggiunta di un esempio completo di figure esplicative; la discussione sulla segnalazione *antipodale* vede spostate le considerazioni legate alla trasmissione dati al cap. 8, mentre per la segnalazione *ortogonale* si accenna alla moltiplicazione a divisione di codice. Nel contesto della discussione sulle *unità di elaborazione*, viene evidenziata la fattorizzazione della d.d.p. congiunta alla base dei risultati, chiarendo che per la media della somma non è necessaria l'indipendenza; viene poi chiarito un passaggio per l'autocorrelazione della somma, ed osservato che la somma di gaussiane è gaussiana;
  - viene spiegata meglio la genesi dei *filtri digitali* come modello di fenomeno fisico, e l'opportunità che offrono per il progetto implementativo dei comportamenti desiderati. E' stata attuata una profonda revisione del *filtro trasversale*, evidenziando il legame tra l'espressione dell'uscita e la topologia dell'architettura, suddividendo il ragionamento tra fase di analisi e di sintesi, e la figura in architettura e risposta in frequenza; Viene quindi approfondita la fase di sintesi, periodicizzando  $H(f)$  e collegando la notazione a quella della DTFT, dopo aver fatto notare che la  $h(t)$  è un segnale campionato; si evidenzia così la possibilità di *finestrare* i coefficienti della DTFT inversa (o serie di Fourier), ed il loro *shift* per ottenere un filtro causale. E' stata definita una nuova sottosezione dedicata alla realizzazione numerica del filtro trasversale, mostrando come i coefficienti di Fourier siano in realtà i campioni della risposta impulsiva moltiplicati per T, ed approfondendo il tema mediante un esempio corredato da nuove figure. Viene quindi introdotto il filtro a media mobile, spiegato come realizzare un passa alto od un passa banda mediante un filtro trasversale, e discusse le soluzioni per un derivatore, un integratore, ed un filtro a pettine. Per quanto riguarda il *filtraggio analogico*, si aggiungono chiarimenti sul-

le relative implementazioni, con 2 link di approfondimento, e si accenna ai tipi di polinomi adottati per la loro sintesi, anche con riferimento ad una nuova figura che mostra la *maschera* delle specifiche del filtro, ed un'altra che rappresenta l'esito della sintesi. Si è aggiunto un link alla trasformazione da piano  $s$  a piano  $z$ , e chiarito che l'ordine è legato a complessità e rapidità di variazione della  $H(f)$ . Viene ora sviluppata l'analisi del circuito che porta alla  $H(f)$  di un filtro analogico ad un polo, e migliorata la definizione di frequenza di taglio.

- il cap. su *distorsione e rumore* si apre con una introduzione che elenca chiaramente le tre cause di distorsione, e chiarisce la distinzione tra elaborazione e distorsione; viene migliorata la definizione di canale perfetto, chiarendo come una volta noti  $a$  e  $\tau$ , è possibile calcolare la potenza dell'errore. Il paragrafo "affievolimenti" è sostituito da un ragionamento più articolato, ponendo in evidenza che se il rumore è fisso ed il canale attenua, anche se perfetto, viene prodotto degrado; è quindi aggiunto un paragrafo di raccordo che rimanda alla composizione tra più rumori additivi, lineari e non lineari, e introduce i decibel. La sezione sulla *distorsione lineare* viene suddivisa in paragrafi con titoletti, e viene gestito il caso in cui  $a < 0$ , che determina l'aggiunta di un gradino "sceso" per la fase, come mostrato da una nuova figura. Per quanto riguarda la distorsione di *ampiezza*, viene sviluppato il passaggio da modulo, a modulo quadro, a decibel, aggiornando la figura esplicativa; relativamente alla distorsione di *fase*, si sviluppa il conto che definisce il ritardo di fase per una frequenza singola, e viene enunciata la definizione di *ritardo di gruppo*, che sarà dimostrata dopo la modulazione. L'esempio viene meglio sviluppato, ed alla figura aggiunto l'andamento del ritardo di gruppo; viene infine dichiarata la condizione per un filtro a *fase lineare*, ed aggiunta la figura relativa. Per quanto riguarda l'*effetto* della distorsione lineare sui segnali, viene aggiunta una figura esplicativa del peggioramento di SNR, ed anticipati i casi di segnale numerico o modulato; la condizione di canale perfetto viene quindi adattata al caso di segnale modulato. Per quanto riguarda la *distorsione di non linearità*, viene sottolineato come *non* dipenda da memoria e frequenza, mentre la figura è ora suddivisa in due, discussa prima del caso FM, e poi di quello AM; viene quindi reso esplicito lo sviluppo in serie di Maclaurin. Si accenna quindi come, se in ingresso sono presenti due o più sinusoidi, compaiano anche termini a frequenza somma e differenza. In appendice sono ora sviluppati i passaggi relativi al caso di ingresso aleatorio, coinvolgendo i momenti misti di processo gaussiano, che ho scoperto chiamarsi teorema di *Isserlis*: adesso è finalmente chiaro un passaggio che mi era rimasto oscuro da più di trent'anni! Migliorata l'introduzione per i disturbi additivi, e puntualizzato che le potenze si sommano solo per processi a media nulla; sviluppato infine il conto che motiva una banda di rumore bianco superiore ai 50 GHz;
- dopo aver rivisto l'introduzione al cap. sulla *trasmissione dati in banda base*, viene aggiunta la figura della densità spettrale  $\text{sinc}^2$  in dB relativa ad un segnale binario e onda rettangolare, e citata esplicitamente la distorsione lineare come causa di ISI. Viene sostanzialmente riscritta la parte relativa alla *trasmissione multilivello*, che ora dovrebbe essere più chiara, ed aggiunto in nota il link a Wikipedia relativo al registro a scorrimento. Aggiunta figura nella nota in cui calcolo la  $G(f)$  per un filtro a coseno rialzato per  $\gamma = 1$ . Precisato che il rumore bianco limitato in banda si intende a media nulla, ed aggiunto riferimento al fatto che un processo gaussiano resta tale dopo filtraggio; indicato quest'ultimo come  $\nu(t)$ , per uniformità con altre parti. Rispetto alla valutazione della *probabilità di errore*, si è modificata la formattazione dei passaggi alla nota, spiegato meglio il legame con il filtro adattato, e discusso come la probabilità che il rumore oltrepassi due soglie sia molto minore di quella che ne oltrepassi una sola; si è poi aggiunta una

nota al codice di Gray, per chiarire il processo inverso attuato in ricezione. A riguardo del *controllo di errore*, si è dettagliata meglio la nota relativa ai canali half duplex, ed ai dispositivi di memoria. Introdotto un nuovo paragrafo relativo al *codice a blocchi* che definisce e valuta la probabilità di errore residua, ovvero gli errori su parola causati dalla mancata correzione da parte del codice. Migliorati infine figura e testo relativi al calcolo della potenza di un segnale dati;

- per i *segnali modulati* si sono introdotte varie modifiche e miglioramenti tutti abbastanza minimali ma chiarificatori. Si è quindi suddivisa l'unica figura relativa al segnale analitico in più sotto-figure, si è definito anche il contenuto a frequenze negative, coniugato del segnale analitico, si è dimostrato che il filtro a "frequenze positive" equivale a combinare il segnale modulato con la sua trasformata di Hilbert. Nella *densità spettrale di segnali passa-banda* si ottiene per prima la densità modulata da quella dell'involuppo complesso, viene aggiunta una nuova figura, e si dimostra l'espressione per la densità di energia corrispondente. la demodulazione omodina è ora indicata come in fase e quadratura. I segnali a banda stretta ed il ritardo di gruppo sono ora sottosezioni della distorsione lineare per i segnali modulati. La rappresentazione spettrale per processi in banda traslata subisce approfondita revisione, ora non ci dovrebbero essere passaggi saltati. Spostata in appendice la trasmissione a banda laterale unica con il metodo "fotocopia forbici e colla". Migliorato testo ed impaginazione per il tempo di ritardo di gruppo, e svelato l'arcano del miracolo che lo vede diventare negativo: scappa fuori da un errato modello analitico, infatti si arresta una serie di potenze al primo ordine, ma se il modulo non è costante e/o la fase cambia rapidamente pendenza, l'approssimazione non è più valida, dunque l'anticasità è solo apparente;
- nel cap. sulla *modulazione per segnali analogici* oltre alle modifiche minori, viene spiegato meglio come una fase incognita ruoti il piano dell'involuppo complesso, e dunque caratterizzare AM-BLD come costituita dalla sola componente in fase sia una convenzione per semplificare i conti; viene quindi aggiunta in appendice la dimostrazione dell'espressione dello spettro di densità di potenza per AM-BLU, e viene accennato al motivo per cui questa presenti una maggiore dinamica delle ampiezze rispetto al caso BLD. Si sono poi revisionate le figure e migliorato il testo per il demodulatore eterodina. Rivista anche la logica espositiva per la modulazione angolare, per la quale si sposta la prima tabella mentre la sua generazione prende una sottosezione; introdotte precisazioni relative al ricevitore a PLL, il cui ordine dipende dal filtro di loop. Creata una nuova figura per il ricevitore a discriminatore, in cui si esemplifica il funzionamento del rivelatore a pendenza, descritto ed armonizzato nel testo. Operata una approfondita revisione del testo per la densità spettrale di segnali a modulazione angolare. Dopo l'analisi per modulante sinusoidale, si definisce il caso di modulazione multitono, con segnali qualsiasi, ed il concetto di allargamento spettrale. Per quanto riguarda la densità spettrale per FM ad alto indice, viene aggiunta una nota che cita l'approssimazione "quasi stazionaria" di Rowe, e dichiara la propria perplessità;
- il cap. sulle *prestazioni delle trasmissioni modulate* ora segue quello sulla modulazione, in modo da poter chiudere il discorso al riguardo nella stessa prima parte. L'altro miglioramento è l'aggiunta della dimostrazione per la distribuzione di una v.a. di Rayleigh;
- nel cap. su *teoria dell'informazione e codifica* vede la spiegazione della dimostrazione sui limiti per l'entropia, e discusse le condizioni per la sua massimizzazione; viene creato un paragrafo a parte che definisce codebook e codeword; viene migliorata la figura relativa ad intensità informativa e codifica binaria, evidenziando la delimitazione della sorgente

binaria equivalente, e sono chiariti i passaggi relativi al rendimento del codice. Viene chiarito che la disuguaglianza di Kraft è condizione necessaria e sufficiente per un codice non ambiguo, ma solo necessaria per un codice a rendimento unitario. Parzialmente riscritta la parte sul canale simmetrico binario e decisore Bayesiano. Aggiunta figura del canale  $L$ -ario nel contesto dell'informazione mutua media per sorgenti discrete, migliorandone l'esposizione e chiarendo il passaggio in nota.

*Alessandro Falaschi, Marzo 2018*