



LICEO STATALE XXV APRILE

classico - scientifico - musicale

Via Martiri della libertà, 13 - 30026 Portogruaro (VE)
tel. 0421 72477 - Cod. meccanografico vepc050007 - Cod. fiscale 83003670276
Mail segreteria@liceoxv.it - presidenza@liceoxv.gov.it - Sito www.liceoxv.gov.it



Elaborato Finale

Argomento 13: Connessioni WF

Maturando:

Docente di riferimento:

Niccolò Nobili
5A S.A.

Prof.ssa Anna Malvezzi

Anno Accademico 2020-2021

Indice

1	Introduzione	1
1.1	Presentazione problema	1
1.2	Enunciati	1
2	Risoluzione quesiti	3
2.1	Quesito 1	3
2.1.1	L'onda	3
2.1.2	Scelta del canale	3
2.2	Quesito 2	5
2.2.1	Le frequenze	5
2.2.2	L'induttanza	6
2.3	Quesito 3	6
2.3.1	Valori Efficaci	7
2.4	Quesito 4	7
2.4.1	Il grafico	8
2.5	Quesito 5	8
2.5.1	L'integrale e il suo uso	9
2.5.2	La discretizzazione	9
2.5.3	I possibili metodi per la risoluzione	10
2.5.4	Il metodo Cavalieri - Simpson	12
2.5.5	Il linguaggio C++	13
2.5.6	Il codice	14
2.5.7	I risultati	16
3	Approfondimento	18
3.1	Indirizzo MAC	18
3.2	Indirizzo IP	18
3.2.1	Indirizzi IPv4	19
3.2.2	IPv6	20
3.3	Esaurimento indirizzi IPv4	20
	Bibliografia	22

Elenco delle figure

1	Canali WiFi	1
2	Sovrapposizione canali	4
3	Antenna onda elettrica	5
4	Antenna onda magnetica	6
5	Propagazione campo elettrico	8
6	Propagazione del campo elettrico e magnetico	9
7	Trapezoide	9
8	Vari livelli di discretizzazione	10
9	Metodo del punto centrale	11

10	Metodo dei trapezi	12
11	Metodo Cavalieri - Simpson	13
12	Inserimento dati	16
13	Risultati approssimazione	16
14	Indirizzo MAC	18
15	Esempio di indirizzo IPv4	19
16	Esempio di indirizzo IPv6	20
17	Linea del tempo dell'esaurimento	21

Elenco delle tabelle

1	Differenza tra i valori calcolati	17
2	Differenza tra classi	19

1 Introduzione

L'elaborato finale verte sulla risoluzione di una serie di quesiti riguardanti un problema, assegnato dalla commissione di classe. In seguito alla presentazione del problema e l'enunciazione dei quesiti si svolgerà la risoluzione singolare di essi. Dopo la risoluzione dei cinque quesiti segue un approfondimento, scelto a cura del docente di Informatica, la Prof.ssa Anna Malvezzi.

La presentazione dell'elaborato sarà una parte del colloquio orale tenuto come Esame di Maturità.

1.1 Presentazione problema

Il problema scelto dalla commissione enuncia la seguente situazione:

Stai installando il tuo nuovo modem router ADSL wireless, che permette la connessione a internet anche del tuo telefono mediante rete WiFi a 2,400 GHz. A un certo punto il software per la configurazione visualizza l'elenco mostrato in figura e ti chiede di scegliere uno dei 13 canali WiFi disponibili, che trasmettono a diversa frequenza. In casa tua hai anche un media center che trasmette in WiFi sul canale 3. Selezioni quindi il canale 7.

In seguito viene fornita un'immagine che mostra l'elenco di canali WiFi disponibili. Il problema definisce che due di questi canali verranno occupati per la trasmissione. Il canale 3 sarà impiegato dal media center mentre il canale 7 sarà il canale che verrà scelto durante la configurazione del modem router ADSL. Nella prossima sezione verranno enunciati i quesiti richiesti.

Channel-01 2412MHz
Channel-02 2417MHz
Channel-03 2422MHz
Channel-04 2427MHz
Channel-05 2432MHz
Channel-06 2437MHz
Channel-07 2442MHz
Channel-08 2447MHz
Channel-09 2452MHz
Channel-10 2457MHz
Channel-11 2462MHz
Channel-12 2467MHz
Channel-13 2472MHz

1.2 Enunciati

L'elaborato richiede di rispondere a 6 quesiti. I primi riguardano la risoluzione di problemi legati alla fisica che permette alla trasmissione WiFi di esistere. Il quinto quesito fa riferimento alle discipline di matematica, fisica e informatica. Il sesto, e ultimo quesito, serve da collegamento interdisciplinare e riguarda la natura della connessione a una rete globale. I quesiti sono i seguenti:

1. Dopo aver calcolato la lunghezza dell'onda elettromagnetica emessa dal canale 7 e classificato il tipo di radiazione, spiega con quale ragionamento scegli un canale di trasmissione WiFi.
2. Il circuito oscillante collegato all'antenna del modem router ha una capacità di 2,000 pF. Calcola l'induttanza del circuito e spiega dal punto di vista fisico la relazione che esiste tra la frequenza del circuito oscillante e l'onda elettromagnetica emessa.

Figura 1: Canali WiFi

3. Il dispositivo può emettere onde di intensità massima pari a $0, 1000 \text{ W/m}^2$. Determina i massimi valori efficaci del campo elettrico e del campo magnetico.
4. Supponi che l'onda si propaghi lungo l'asse orizzontale, ovvero l'asse x . Scrivi la funzione $E(x, t)$ che descrive la propagazione del campo elettrico lungo l'asse x e fai un disegno, indicando la posizione dell'antenna e i campi elettrico e magnetico per almeno un'oscillazione completa.
5. Calcola l'area sottesa dalla curva $E(x, t)$ nell'intervallo $t \in [2s; 10s]$ sfruttando un metodo di analisi numerica secondo te più idoneo al caso.
 - Motiva la scelta del metodo che hai utilizzato tra quelli che conosci, evidenziando le differenze tra i vari metodi e l'interpretazione geometrica alla base di ognuno.
 - Commenta i risultati. Illustra l'ambiente di programmazione e il linguaggio utilizzati.
 - Descrivi le principali strutture del codice che realizzano l'algoritmo risolutivo.
6. Spiega come un dispositivo può connettersi ad una rete globale utilizzando indirizzo MAC e IP. Illustra le differenze tra i due. Spiega come si è cercato di risolvere il problema della scarsa quantità di indirizzi IPV4 disponibili.

Le risoluzioni dei quesiti 1, 2, 3, 4 e 5 saranno oggetto della prossima sezione mentre il quesito 6 avrà un'intera sezione dedicata alla sua spiegazione.

2 Risoluzione quesiti

In questa sezione verranno trattate le risoluzioni dei quesiti 1, 2, 3, 4 e 5. Le risposte conterranno formule, grafici e, dove necessario, esempi di codice.

2.1 Quesito 1

Il primo quesito pone tre domande. La prima, di carattere numerico, chiede il calcolo della lunghezza d'onda λ dell'onda elettromagnetica emessa dal canale di trasmissione 7. In seguito, viene chiesto di classificare il tipo di radiazione emessa. Infine, viene richiesto di spiegare la metodologia da adottare al scegliere un canale per la trasmissione WiFi.

2.1.1 L'onda

Per il calcolo della lunghezza d'onda faremo riferimento all'equazione $c = f\lambda$. Questo è permesso perché ogni onda elettromagnetica è caratterizzata da una frequenza f e una lunghezza d'onda λ , entrambi legate alla velocità v di propagazione dell'onda ¹. Dunque è possibile ricavarsi la formula inversa

$$c = f\lambda \longrightarrow \lambda = \frac{c}{f}$$

Il problema ci fornisce la frequenza f , scegliendo il canale 7 avremo $f = 2442 \text{ MHz}$ che corrisponde a $f = 2442 \times 10^6 \text{ Hz}$. Considerando $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ² siamo quindi in possesso di tutti i dati necessari per calcolare λ . Otterremo quindi che

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2442 \times 10^6 \text{ Hz}} = \frac{50}{407} = 0,1228 \text{ m} \quad (1)$$

Il tipo di onda che viene utilizzato nella trasmissione WiFi è l'onda radio. Le onde radio sono una categoria di radiazione elettromagnetica con frequenze comprese tra 300 GHz (molto elevate) e 3 KHz (meno elevate) ³. Le lunghezze d'onda corrispondenti a queste frequenze sono rispettivamente, calcolate secondo l'equazione 1, 1 mm ($0,001 \text{ m}$) e 100 km ($100,000 \text{ m}$). Le diverse lunghezze d'onda attribuiscono alle onde diverse capacità di superare, o meglio aggirare, ostacoli ⁴.

2.1.2 Scelta del canale

Le onde radio sono oggi la base della telecomunicazione. E' proprio questo il tipo di radiazione elettromagnetica che viene usata per lo scambio di dati attraverso WiFi.

¹Cutnell, J., Johnson, K., Young, D. and Stadler, S., 2015. I problemi della fisica 3. Zanichelli.

²Penrose, R., 2006. The road to reality. New York: Alfred A. Knopf.

³What are radio waves?, 2021, NASA

⁴Cutnell, J., Johnson, K., Young, D. and Stadler, S., 2015. I problemi della fisica 3. Zanichelli.

Lo scambio di dati, governato dai protocolli della IEEE, può avvenire su una serie distinte di bande di trasmissione, ciascuna collegata a un preciso intervallo di frequenze: 900 MHz , 2.4 GHz , 3.6 GHz , 4.9 GHz , 5 GHz , 5.9 GHz , 60 GHz ⁵. Ciascuna banda è suddivisa in una serie di canali, come mostra la figura.

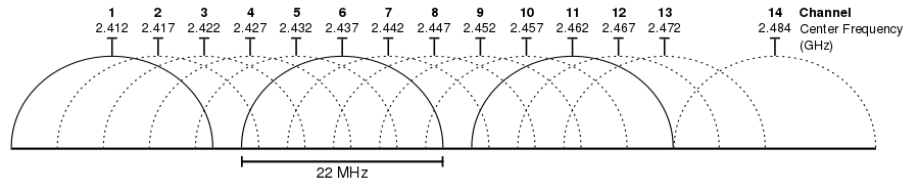


Figura 2: Sovrapposizione canali

Nel caso in questione la trasmissione dei dati avviene tramite la banda 2.4 GHz che opera tra le frequenze di 2.4 GHz e 2.5 GHz . Nonostante, secondo i protocolli, questi canali siano distanziati da 5 MHz l'uno dall'altro, la realtà dimostra che ogni canale occupa un intervallo di circa 20 MHz ciascuno. Così facendo un canale può andare a trasmettere dati sulla stessa frequenza occupata da altri 2 o 4 canali. Questa sovrapposizione può portare alla presenza di interferenza e una caduta nella quantità di dati che possono essere trasmessi.

Dunque, nella scelta del canale da usare per la trasmissione è opportuno tenere conto della possibile sovrapposizione. Esiste un pensiero comune che gli unici canali a non essere in sovrapposizione siano l'1, 6 e 11. Questo non è vero, questo gruppo di canali è l'unico gruppo di 3 canali a non essere in sovrapposizione. Analizzando la figura 2 possiamo vedere come sia necessario scegliere canali che siano distanziati da altri 5, come ad esempio i canali 2 e 7 o 3 e 8. Tuttavia, questo approccio rispecchia soltanto un uso teorico dei canali. Nella realtà è molto raro trovare una configurazione ottimale, molto spesso l'utente non sceglie un canale quando effettua la configurazione, bensì sceglie l'opzione "automatico". Questo potrebbe non essere un problema nel momento in cui non ci troviamo in un luogo affollato (dal punto di vista dei segnali). In più, le frequenze usate dalla banda 2.4 GHz vengono attenuate in modo sufficiente dalle pareti delle case o edifici. Perciò, la scelta manuale di canali di trasmissione può risultare superflua giacché molto spesso le configurazioni di fabbrica e l'ambiente in cui è posto il modem router non rendono inefficiente la trasmissione. Se, invece, lo si volesse scegliere, in una rete a 2.4 GHz , dovremmo tenere in conto le seguenti informazioni:

- Impostare una configurazione ottimale dei modem, in cui vengono usati soltanto canali non sovrapposti per la trasmissione

⁵"IEEE Standard for Information Technology–Telecommunications and Information Exchange between Systems - Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," in IEEE Std 802.11-2020 (Revision of IEEE Std 802.11-2016)

- Ridurre la distanza tra modem router e dispositivo
- Ridurre la presenza di ostacoli solidi, come pareti, tra il modem router e il dispositivo

2.2 Quesito 2

Il secondo quesito pone due domande. La prima richiede di calcolare l'induttanza L del circuito data la capacità $C = 2,000 \text{ pF}$ del circuito oscillante collegato all'antenna. La seconda chiede di spiegare la relazione che esiste tra frequenza del circuito e frequenze dell'onda elettromagnetica.

2.2.1 Le frequenze

Per potere effettuare il calcolo dell'induttanza L è prima necessario parlare della relazione che intercorre tra la frequenza dell'onda elettromagnetica emessa e la frequenza del circuito oscillante collegato all'antenna.

Innanzitutto, è necessario parlare della struttura di un'antenna ricevente. Questa è formata da due parti. La prima comprende un'antenna, che può essere assimilata a un filo conduttore, messa in circuito con un condensatore a capacità variabile e un induttore. La seconda parte è formata da un altro circuito che viene messo in funzione grazie alla mutua induttanza che avviene tra gli induttori del primo e secondo circuito.

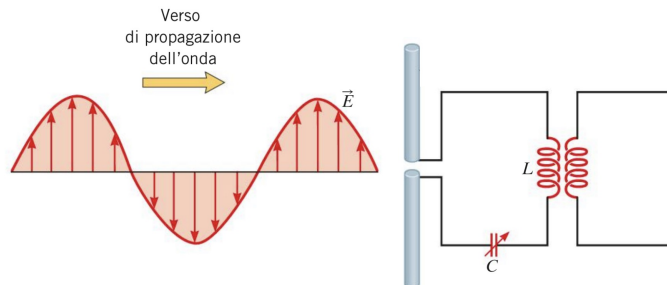


Figura 3: Antenna onda elettrica

Questa antenna serve per catturare la forza posseduta dall'onda elettrica che porterà a un'interazione tra l'onda e le cariche elettriche presenti nel filo. Affinché ciò avvenga in maniera efficiente è necessario che, come illustra la figura 3, l'antenna sia parallela al campo elettrico.

Per quanto riguarda l'onda magnetica, invece, l'antenna ricevente avrà una struttura diversa. Come è saputo, l'onda elettrica e l'onda magnetica sono perpendicolari tra loro. Dunque, l'onda magnetica avrà un'interazione diversa con l'antenna se mantenessimo la stessa orientazione. Perciò l'antenna sarà formata da una spira che interagirà con il campo magnetico dell'onda.

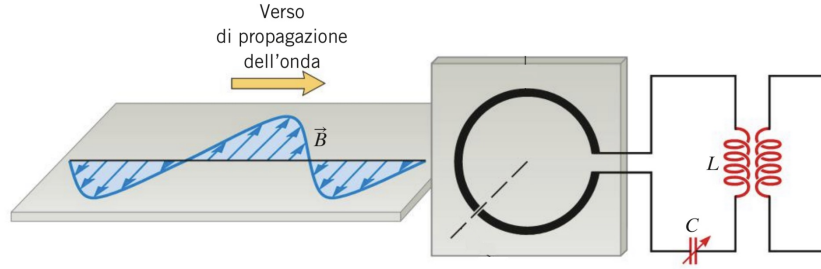


Figura 4: Antenna onda magnetica

L'interazione tra l'onda e le cariche della spira saranno massime quando la normale al piano della spira sarà parallela all'onda. In tal modo si verifica una variazione di flusso ottimale attraverso la spira. Questo genererà una carica indotta massima nel circuito collegato alla spira. In entrambe le antenne è possibile, attraverso la modifica della capacità del condensatore, selezionare la frequenza dell'onda da rilevare. E' proprio questo il legame che intercorre tra le frequenze.

2.2.2 L'induttanza

Descritta quindi la relazione possiamo ora passare al calcolo dell'induttanza L . Sapendo che ogni circuito possiede una frequenza di risonanza f_0 è possibile uguagliare la frequenza dell'onda emessa dal canale numero 7, $f = 2442 \text{ MHz}$, alla frequenza del circuito. Avremo quindi che:

$$f_0 = f = 2442 \text{ MHz} = 2442 \times 10^6 \text{ Hz}$$

Conoscendo la capacità C del condensatore ($C = 2,000 \text{ pf} = 2 \times 10^{-12}$), e la formula descritta in seguito potremmo calcolare L

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \rightarrow L = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2} \frac{1}{C} = 2,12 \times 10^{-9} \text{ H} \quad (2)$$

2.3 Quesito 3

Il terzo quesito pone una domanda di carattere numerico. Data l'intensità massima che il dispositivo può emettere, $S = 0,1 \text{ W/m}^2$, dobbiamo calcolare i massimi valori efficaci del campo elettrico e del campo magnetico.

2.3.1 Valori Efficaci

Procediamo a effettuare il calcolo, prima del massimo valore efficace del campo elettrico e poi del campo magnetico. Mentre un'onda elettromagnetica si sposta nello spazio trasporta con sé una determinata quantità di energia. Questa energia può essere concepita come l'irradiazione S di un'onda. L'irradiazione è il rapporto fra la potenza elettromagnetica che attraversa perpendicolarmente una superficie e l'area di questa superficie ⁶. Le rispettive formule per il calcolo dell'irradiazione delle onde del campo elettrico e magnetico sono

$$S = \frac{P}{A} = \begin{cases} S_E = c\epsilon_0 E_{eff}^2 \\ S_B = \frac{c}{\mu_0} B_{eff}^2 \end{cases} = \begin{cases} E_{eff} = \sqrt{\frac{S_E}{c\epsilon_0}} = 6,137 \text{ N/C} \\ B_{eff} = \sqrt{\frac{S_B \mu_0}{c}} = 2,046 \text{ T} \end{cases} \quad (3)$$

Dove ϵ_0 corrisponde alla costante dielettrica nel vuoto, che lega tra loro diverse grandezze fisiche meccaniche ed elettromagnetiche. μ_0 , invece, corrisponde alla costante di permeabilità magnetica, che esprime l'affinità che ha un materiale per magnetizzarsi in presenza di un campo magnetico.

2.4 Quesito 4

Il quarto quesito richiede di costruire un grafico partendo dalla funzione $E(x, t)$ che descrive la propagazione del campo elettrico lungo l'asse x .

Il comportamento dell'onda che descrive l'andamento temporale e spaziale del campo elettrico è un'onda sinusoidale. Pertanto, la funzione che verrà usata per descrivere il suo moto sarà la funzione $\cos(x)$. Dunque, trattandosi di un campo prodotto da quello che può essere considerata una corrente alternata, sarà presente un intervallo, detto ampiezza, che limita i valori che può assumere la funzione. Nel caso del campo elettrico l'equazione generica sarà

$$E(x) = E_0 \cos(x)$$

Tuttavia, resta da decidere cosa verrà scelto come argomento della funzione. Innanzitutto, il campo elettrico non viene rilevato istantaneamente nei punti lontani dalla sorgente, bensì l'onda si propaga attraverso lo spazio e il tempo con una velocità pari a $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. L'onda si può quindi considerare non come statica nello spazio ma in movimento. Perciò, nella scelta dell'argomento sarà importante tenere conto di questa precisazione. L'oscillazione del campo elettrico sarà quindi dettata dall'equazione:

$$E(x, t) = E_0 \cos(kx - \omega t) \quad (4)$$

Per cui avremo le seguenti uguaglianze, definite usando come riferimento l'onda del quesito 1, con $f = 2442 \cdot 10^6 \text{ Hz}$.

⁶Cutnell, J., Johnson, K., Young, D. and Stadler, S., 2015. I problemi della fisica 3. Zanichelli.

$$\begin{cases} \omega = \frac{2\pi}{\tau} = \frac{2\pi}{\lambda/c} = \frac{2\pi c}{\lambda} = 1,535 * 10^{10} \text{ s} \\ k = \frac{2\pi}{\lambda} = 51,166 \text{ m}^{-1} \end{cases}$$

Dove ω corrisponde alla pulsazione dell'onda, ovvero al numero di periodi in un intervallo di 2π . k , invece, corrisponde al numero d'onda, ovvero il numero di oscillazione dell'onda nell'unità di lunghezza.

2.4.1 Il grafico

Per descrivere la propagazione dell'onda per un'oscillazione completa è importante indicare il verso di propagazione dell'onda. In questo caso considereremo soltanto un verso di propagazione dell'onda, quello che partendo dall'origine di un sistema di assi cartesiani si sviluppa verso l'asse x crescente. L'origine coincide inoltre con la posizione dell'antenna che genera il campo elettrico. Pertanto, l'antenna avrà una posizione verticale, disposta parallelamente all'asse y . L'onda quindi avrà un'ampiezza compresa tra $y_{max} = +E_0$ e $y_{min} = -E_0$. Il sistema di riferimento aiuta a capire come l'onda abbia in realtà una propagazione circolare.

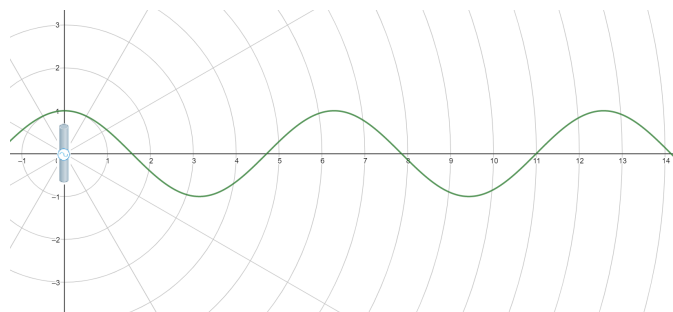


Figura 5: Propagazione campo elettrico

Il quesito tuttavia chiede di indicare la propagazione dell'onda del campo magnetico ed elettrico. Perciò, utilizzando il calcolatore 3D di GeoGebra, sono state calcolate le onde. Per facilitare la lettura è stato scelto di esagerare la curva, sia in termini di ampiezza che in termini di pulsazioni.

2.5 Quesito 5

Il quinto quesito chiede, partendo dalla curva descritta dalla funzione $E(x, t)$, di calcolare l'area sottesa nell'intervallo $[2s; 10s]$. Per effettuare il calcolo useremo un metodo di analisi numerica approssimativo basato sulla discretizzazione. Il metodo di analisi numerica che verrà usato è il metodo di Cavalieri - Simpson.

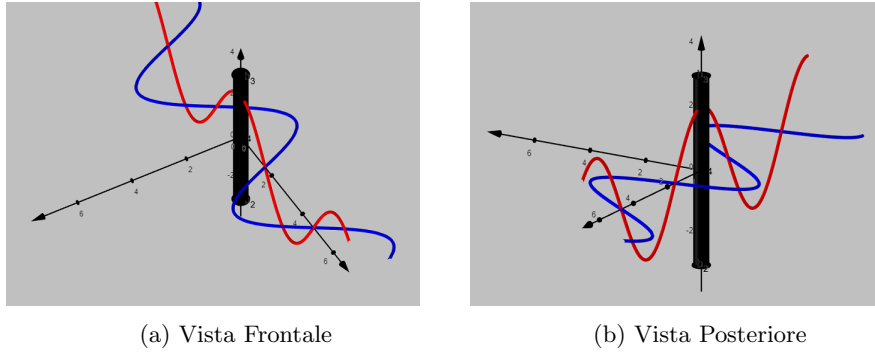


Figura 6: Propagazione del campo elettrico e magnetico

2.5.1 L'integrale e il suo uso

Il calcolo dell'area sottesa si effettuerà attraverso la risoluzione dell'integrale definito

$$\int_2^{10} E(x, t) dt$$

La difficoltà nel calcolo di queste aree è determinato dalla natura curvilinea di molte funzioni. A differenza dei poligoni, il calcolo dell'area non si riduce a quella di un quadrato. Invece, il calcolo delle aree si risolve nella figura del trapezoide, che è una figura definita dall'asse delle x , dalle rette $x = a$ e $x = b$ e dal grafico di $f(x)$. Il problema che risulta è quindi il calcolo, o meglio l'approssimazione, del valore dell'area del trapezoide ⁷.

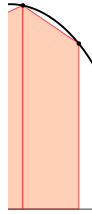


Figura 7: Trapezoide

2.5.2 La discretizzazione

L'algoritmo basa la sua funzionalità sul concetto di discretizzazione. Aniché analizzare l'intervallo di integrazione come un unico, e continuo, intervallo, gli algoritmi lo suddividono in parti più ristrette.

⁷Bergamini, M., Barozzi, G. and Trifone, A., 2019. Manuale blu 2.0 di matematica 5 PLUS. Zanichelli.

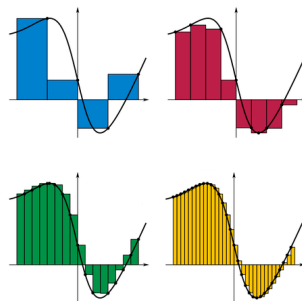


Figura 8: Vari livelli di discretizzazione

Perciò, il valore finale sarà dato dalla somma del valore stimato dell'integrale su ciascun intervallo ⁸.

I valori ottenuti saranno stimati poiché gli algoritmi si basano sul concetto di discretizzazione, che per natura implica l'esistenza di errori di discretizzazione, indotti dalla natura limitante della discretizzazione stessa ⁹. Dunque, il problema che si presenta è di **precisione**. Possiamo quindi considerare il numero di blocchi come un iperparametro che deve essere scelto accuratamente prima dell'esecuzione del calcolo. Questo numero sarà scelto secondo la formula:

$$h = \frac{b - a}{n} \quad (5)$$

In base alla scelta di h avremo diversi gradi di precisione e diverse velocità di esecuzione. Questi due valori sono indirettamente legati giacché un aumento di precisione presuppone, a parità di condizioni, un aumento nel tempo di computazione del valore richiesto. Un esempio molto chiaro può essere fatto in riferimento alla figura 8. Se consideriamo il grado colorato in blu possiamo analizzare che la velocità di calcolo sarà molto alta, a discapito però della precisione che otterremo. Analizzando il risultato della discretizzazione verde, otterremo una maggiore precisione ma una velocità di esecuzione dei calcoli minore.

2.5.3 I possibili metodi per la risoluzione

L'approssimazione dell'integrale può svolgersi sfruttando uno tra i seguenti metodi di discretizzazione:

- Metodo del Punto Centrale
- Metodo dei Rettangoli
- Metodo dei Trapezi

⁸Camagni, P. and Nikolassy, R., 2019. Inform@t - Per il liceo scientifico opzione scienze applicate. 3rd ed. Hoepli.

⁹Higham, N., 1996. Accuracy and stability of numerical algorithms. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.

- Metodo Cavalieri - Simpson

Come annunciato, il metodo che verrà usato sarà quello di Cavalieri - Simpson. Il calcolo è stato effettuato usando tutti i metodi ma, attraverso l'analisi dei risultati, si è scelto di presentare il metodo Cavalieri - Simpson poiché è il più rapido ed efficiente a effettuare il calcolo. Nonostante ciò ora si darà una breve spiegazione degli altri 3 metodi.

Il metodo del punto centrale è considerato il metodo di maggiore semplicità. L'intervallo di integrazione non viene suddiviso, bensì viene considerato come un unico rettangolo avente le seguenti caratteristiche:

- la base corrisponde alla differenza tra gli estremi di integrazione:

$$base = b - a$$

- l'altezza corrisponde al valore della funzione nel punto medio dell'intervallo:

$$altezza = f\left(\frac{a+b}{2}\right)$$

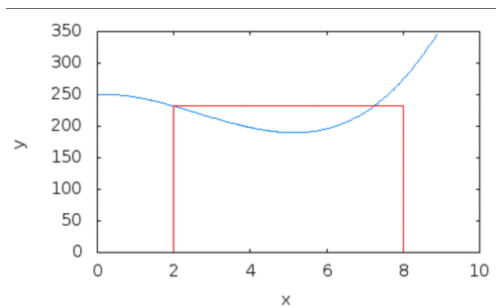


Figura 9: Metodo del punto centrale

Questo metodo calcola un'approssimazione molto rudimentale di quello che è il vero valore dell'integrale ma lo fa in un tempo molto breve.

Il metodo dei rettangoli può essere considerato come un'evoluzione del metodo del punto centrale. Invece di considerare l'intervallo di integrazione come un singolo rettangolo, lo consideriamo come un insieme di rettangoli, calcolati usando l'equazione 1. Il valore del punto medio di ciascun rettangolo diventa dunque

$$f(x) = f\left(a + \frac{h}{2}\right)$$

dove l'argomento della funzione corrisponde al punto centrale di ogni intervallo. L'area di ciascun rettangolo sarà quindi uguale a

$$A_i = h * f(x)$$

Da qui otteniamo che l'area totale sarà data dalla somma di h aree

$$A = h \sum_{i=1}^n f(x) \quad (6)$$

E' evidente che otterremmo una maggiore precisione a discapito però della velocità di elaborazione del risultato.

Il metodo dei trapezi si basa sullo stesso concetto dei metodi precedenti ma utilizza un polinomio di primo grado per descrivere le altezze dei trapezi che verranno usati per calcolare l'area. Anziché considerare l'intervallo come un insieme di rettangoli, l'intervallo viene considerato come un insieme di trapezi.

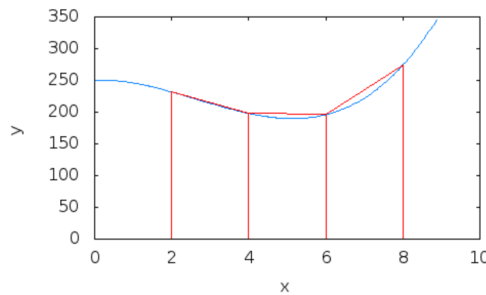


Figura 10: Metodo dei trapezi

Pertanto, il valore delle singole aree sarà data dalla formula

$$A = h * \frac{f(x_1) + f(x_i + 1)}{2} = \frac{b - a}{n} * \frac{f(x_1) + f(x_i + 1)}{2}$$

L'area totale sarà quindi uguale alla somma tra l'area di tutti i trapezi che compongono l'intervallo

$$A = \frac{h}{2} * \sum_{i=0}^n f(x_i) + f(x_i + 1) = \frac{h}{2} * \left(f(a) + 2 \sum_{i=0}^{n-1} f(x_i) + f(b) \right) \quad (7)$$

2.5.4 Il metodo Cavalieri - Simpson

Il metodo di Cavalieri-Simpson utilizza una parabola come formula per calcolare l'area sottesa alla curva della funzione nell'intervallo $[a, b]$. La parabola passa per tre punti distinti, così individuati:

- A e B dati dal valore della funzione negli estremi a e b [$A = f(a)$ e $B = f(b)$]
- C dato dal valore della funzione nel punto medio [$C = f(\frac{a+b}{2})$]

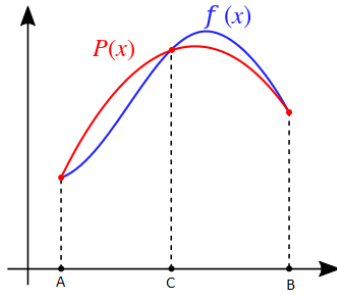


Figura 11: Metodo Cavalieri - Simpson

Il valore finale che verrà calcolato sarà quindi dato dalla somma di n valori calcolati usando il metodo su ciascun intervallo ¹⁰. La formula che viene utilizzata per svolgere il calcolo è la seguente

$$A = \frac{h}{3} * \left[f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b) \right] \quad (8)$$

Il metodo verrà trascritto in linguaggio di programmazione C++, il che permette un calcolo **rapido, sicuro ed efficace** ¹¹. In seguito verrà fornito una breve introduzione al linguaggio di programmazione C++ e il codice usato per effettuare il calcolo, o meglio l'approssimazione, dell'integrale.

2.5.5 Il linguaggio C++

Il metodo di Cavalieri- Simpson è stato trascritto in linguaggio C++ ed è stato usato l'ambiente Visual Studio Code. Visual Studio Code, o VS Code, è un ambiente di programmazione open-source creato dalla Microsoft. Alcuni programmatori lo definiscono come un IDE (Integrated Development Environment) mentre altri lo definiscono come un text editor. La differenza sostanziale con qualsiasi altro prodotto disponibile è la capacità di aggiungere estensioni. Queste estensioni possono essere legate a specifici linguaggi di programmazione, come ad esempio Python, Go, JavaScript, o a funzioni, come ad esempio la colorazione delle graffe usate per delimitare blocchi di codice. Ciò rende il prodotto molto piccolo da un punto di vista dimensionale, ma la possibilità di aggiungere estensioni lo rende potente come un IDE.

¹⁰Camagni, P. and Nikolassy, R., 2019. Inform@t - Per il liceo scientifico opzione scienze applicate. 3rd ed. Hoepli.

¹¹Cplusplus.com. 2021. A Brief Description - C++ Information. [online] Available at: <https://cplusplus.com/info/description/> [Accessed 11 May 2021].

Il linguaggio di programmazione C++ nasce nel 1979 da Bjarne Stroustrup come un'evoluzione del linguaggio C. Stroustrup voleva aggiungere capacità di OOP (Object Oriented Programming), o Programmazione orientata agli oggetti, al linguaggio C. Il C++ è un linguaggio compilato, che permette di avere dei tempi di esecuzione molto brevi.

2.5.6 Il codice

Il programma che esegue l'approssimazione è formato da 3 principali blocchi di codice, che ora verranno illustrati e descritti.

Il primo blocco di codice tratta la definizione della funzione che verrà usata per approssimare il valore dell'integrale.

```

1
2 // Definizione costante PI,
3 // utilizzata per convertire l'argomento della funzione cos()
4 #define PI 3.14159265
5
6 // Definizioni costanti calcolati nella risposta
7 // al quesito numero 4, in seguito alla definizione
8 // dell'equazione 4
9 #define omega 1.535e10
10 #define k 51.166
11 #define Eeff 6.137
12 #define c 3e8
13
14 // Definizione della funzione integranda
15 double f(double t){
16     return Eeff * cos((k * t * c) - (omega * t)) * PI / 180.0) +
17     Eeff;
18 }
19

```

Come si può vedere il blocco è diviso in due parti. Una prima parte contiene la dichiarazione di una serie di costanti calcolate in riferimento alla risoluzione del quarto quesito, nello specifico l'equazione 4. Queste costanti vengono usate nella funzione $f(\text{double } t)$ per definire la funzione dettata dalla quarta equazione menzionata prima. Sono da notare due particolari. Innanzitutto, la funzione presenta un solo parametro in ingresso *double t*. E' possibile ridurre la quantità di variabili necessarie in ingresso perché il valore di x può essere calcolato come ct , dove t è la variabile indipendente e $c = 3 * 10^8 \text{ m/s}$. Inoltre, alla funzione viene sommato un termine *Eeff*. Questo è necessario perché, come detta la definizione di integrale, l'area da calcolare deve essere sottesa alla curva. Essendo il grafico compreso tra un valore massimo, positivo, e un valore minimo, negativo, occorre traslare la funzione, ponendola in un dominio positivo. L'operazione viene inoltre facilitata dal fatto che il grafico è simmetrico rispetto all'asse x , perciò occorre solamente aumentare il valore di *Eeff*.

Il secondo blocco di operazioni definisce l'algoritmo di Cavalieri - Simpson.

```

1
2 // Metodo di Cavalieri - Simpson

```

```

3  double cavalieriSimpson(double a, double b, int n){
4      // Dichiarazione variabili iniziale
5      double h, s, sum, x;
6      int j;
7
8      // Inizializzazione iniziale
9      h = (b - a) / n;
10     s = h / 2;
11     sum = f(a) + f(b) + 4 * f(a + s);
12     x = a + h;
13
14     // Iterazione su n intervalli
15     for(j = 1; j < n; j++){
16         sum = sum + 2 * f(x) + 4 * f(x + s);
17         x += h;
18     }
19
20     return sum * (h / 6);
21 }
22
23

```

Il metodo è stato trascritto in linguaggio di programmazione e permette di calcolare l'area partendo dalla formula definita dall'equazione 8. La funzione richiede 3 valori iniziali: a e b sono, rispettivamente, gli estremi inferiori e superiori dell'intervallo. Nel nostro caso avremo $a = 2s$ e $b = 10s$. n invece corrisponde al numero di intervalli che useremo. Nel nostro calcolo avremo $n = [10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000]$. Useremo più valori di n per analizzare come cambia la precisione dell'approssimazione al variare di n . Il ciclo `for()` viene utilizzato per iterare l'approssimazione del valore dell'area su ciascun intervallo, fino a terminare con l'ennesimo intervallo.

Il terzo, e ultimo, blocco è dedicato alla richiesta di inserire gli estremi dell'intervallo di integrazione. Questo permette di poter approssimare il valore dell'integrale anche per intervalli diversi da quello richiesto.

```

1
2  double a, b;
3  cout << endl;
4  cout << "Inserire i seguenti dati:" << endl << endl;
5  cout << "Inserire limite a dell'integrale: ";
6  cin >> a;
7  cout << endl;
8  cout << "\nInserire limite b dell'integrale: ";
9  cin >> b;
10 cout << endl;
11
12 const char separator = ' '; // Separatore tre caselle
13 const int wordWidth = 18; // Larghezza di ogni casella contenente
14    una stringa (testo)
15 const int width = 18; // Larghezza di ogni casella contenente un
16    numero (int/double)
17
18 int n[7] = {10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000};
19
20 cout << "I risultati ottenuti sono i seguenti:" << endl << endl;

```

```

19     cout << left << setw(wordWidth) << setfill(separator) << "
    Intervalli"; // Iterazioni svolte
20     cout << left << setw(wordWidth) << setfill(separator) << "
    Valore approssimato"; // Math.sqrt()
21     cout << endl;
22
23     for (int i = 0; i < 7; i++) {
24         cout << left << setw(width) << setfill(separator) << n[i];
25         cout << left << setw(width) << setfill(separator) <<
        cavalieriSimpson(a, b, n[i]);
26         cout << endl;
27     }
28
29

```

Le prime 10 righe del codice mostrato sono dedicate all'inserimento dei valori degli estremi dell'intervallo di integrazione.

```

Inserire i seguenti dati:
Inserire limite a dell'integrale: 2
Inserire limite b dell'intergale: 10

```

Figura 12: Inserimento dati

In seguito, vengono dichiarate delle costanti che verranno usate per rendere l'output ordinato. Dalla riga 16 in poi avviene l'approssimazione in sé. Intanto, alla riga 16 viene dichiarato un array contenente i valori di n descritti in precedenza. Poi viene stampato l'intestazione della tabella finale che verrà mostrata. Infine, attraverso il ciclo *for()*, viene approssimato il valore dell'integrale per ciascun numero di intervalli.

2.5.7 I risultati

Dopo aver eseguito l'approssimazione del valore dell'integrale usando il programma descritto otteniamo i seguenti valori, stampati sul prompt di comandi.

```

I risultati ottenuti sono i seguenti:
Intervalli      Valore approssimato
10              47.3175
50              48.5964
100             48.9181
500             49.046
1000            49.0782
5000            49.091
10000           49.0942

```

Figura 13: Risultati approssimazione

Come possiamo vedere, il valore calcolo per l'approssimazione dell'integrale aumenta di precisione in maniera direttamente proporzionale con il numero di

intervalli scelti. Si può anche analizzare che l'algoritmo sta effettuando un'apparente convergenza al valore finale dato che l'incremento di precisione tra un calcolo e l'altro è in diminuzione.

Passaggio	Differenza valori
10 a 50	1.2789
50 a 100	0.3217
100 a 500	0.1279
500 a 1000	0.0322
1000 a 5000	0.0128
5000 a 10000	0.0032

Tabella 1: Differenza tra i valori calcolati

3 Approfondimento

L'approfondimento che è stato scelto dalla commissione riguarda l'aspetto tecnico che sta alla base di una connessione a una rete globale, partendo da un dispositivo generico quale dispositivo mobile, computer (desktop e portatili) o dispositivi IoT. Nello specifico si andranno a esaminare gli indirizzi IP e MAC e il loro uso per l'identificazione di dispositivi sulla rete. Infine, ci si concentrerà sul problema dell'esaurimento degli indirizzi IPv4.

3.1 Indirizzo MAC

In questa sezione andremo a descrivere l'indirizzo MAC e il suo uso per l'identificazione fisica di un dispositivo connesso a una rete.

L'indirizzo MAC, dall'inglese Media Access Control Address, è un identificatore esclusivo, unico per ogni scheda di rete (o NIC, Network Interface Controller) in uso. Serve per assegnare a ogni scheda di rete un indirizzo fisico che permetterà di identificare il dispositivo e dirigere traffico a esso. Di norma vengono specificati dalla casa produttrice della scheda e possono essere conservati in memoria ROM (Read- only memory) o meccanismo firmware. Inoltre, i produttori includono il loro identificatore esclusivo (OUI - Organizationally Unique Identifier) all'interno dell'indirizzo. L'assegnazione degli indirizzi è a carico della IEEE Registration Authority (IEEE RA) ¹². Inizialmente, gli indirizzi erano di tipo MAC-48, ora considerati obsoleti e sostituiti dagli indirizzi di tipo EUI-48 e EUI-64. Ad esempio, gli indirizzi di tipo EUI-48 sostituiscono quelli storicamente denominati MAC-48, che sono indirizzi che aderiscono allo standard IEEE 802. ¹³

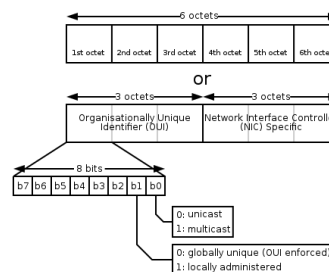


Figura 14: Indirizzo MAC

3.2 Indirizzo IP

Terminata la descrizione dell'indirizzo MAC spostiamo la nostra attenzione sull'indirizzo IP, o Internet Protocol Address. In sintesi, l'indirizzo IP è un indirizzo logico assegnato a ogni dispositivo che è collegato a una particolare rete. L'indirizzo è assegnabile a tutti quei dispositivi che utilizzano l'Internet Protocol come protocollo di rete per l'indirizzamento o networking. L'indirizzo svolge essenzialmente due ruoli

- identificazione del dispositivo all'interno di una rete

¹²Standards.ieee.org. 2021. IEEE SA - Registration Authority. [online] Available at: <https://standards.ieee.org/products-services/regauth/index.html> [Accessed 26 May 2021].

¹³Standards.ieee.org. 2021. [online] Available at: <https://standards.ieee.org/content/dam/ieee-standards/standards/web/documents/tutorials/eui.pdf>.

- indirizzamento di dati entranti e uscenti dal dispositivo

Gli indirizzi IP possono essere di due tipologie diverse: IPv4 o IPv6. Come andremo a vedere nella prossima sezione, l'esaurimento di indirizzi di tipo IPv4 ha portato alla creazione degli indirizzi IPv6 che usano 128 bit, invece che 32, per descrivere il numero logico assegnato al dispositivo.

3.2.1 Indirizzi IPv4

La versione originale dell'Internet Protocol, l'IPv4 nasce nel 1983 per uso all'interno della rete ARPANET, riconosciuta come predecessore all'internet odierno¹⁴. L'indirizzo è composto da 4 ottetti di 8 bit, rendendo possibile l'identificazione univoca di 4.294.967.296 indirizzi. I 4 ottetti, chiamati anche byte, sono poi convertiti in 4 numeri decimali, che vanno dallo 0 al 255, separati da un punto.

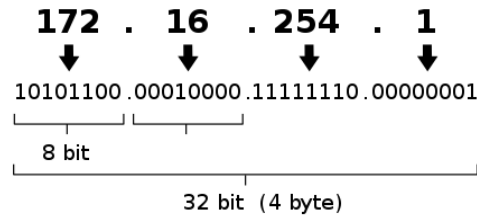


Figura 15: Esempio di indirizzo IPv4

Oltre all'esaurimento degli indirizzi utilizzabili, era nato un problema legato alle sotto reti definibili con indirizzi IPv4. Poiché la suddivisione teneva in considerazione soltanto l'ottetto di maggiore importanza, il primo, erano definibili solamente 256 sotto reti, un numero sicuramente limitante per uso quotidiano. Per superare questo ostacolo vennero proposte due alternative. La prima, nata nel 1981 e detta "architettura classful", identificava 3 classi (A, B e C) di indirizzi IPv4. La differenza tra le classi si basava sul numero di ottetti che venivano utilizzati per identificare possibili sotto reti e quelli che identificavano gli host.

Classe	Ottetti Reti	Ottetti Dispositivi
A	1	3
B	2	2
C	3	1

Tabella 2: Differenza tra classi

¹⁴Darpa.mil. 2021. ARPANET. [online] Available at: https://www.darpa.mil/attachments/ARPANET_final.pdf [Accessed 27 May 2021].

Un'architettura classful non permetteva però la flessibilità necessaria per il rapido aumento di dispositivi presenti in rete. Dunque, nel 1993 venne proposta la CIDR, Classless Inter-Domain Routing. Un'architettura CIDR suddivide un indirizzo IPv4 in due parti: una identifica la sotto rete, l'altra indica l'host, o dispositivo.

3.2.2 IPv6

Come menzionato prima, l'esaurimento di indirizzi Ipv4 disponibili ha portata alla creazione degli indirizzi di tipo IPv6. Anziché limitarsi a 32 bit per l'identificazione logica del dispositivo ne vengono usati 128, permettendo l'identificazione di $2 * 10^{128}$ dispositivi. Un indirizzo IPv6 è composto da otto gruppi di 16 bit, che codificano per 4 numeri esadecimali.

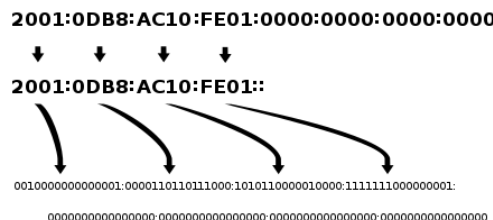


Figura 16: Esempio di indirizzo IPv6

3.3 Esaurimento indirizzi IPv4

L'esaurimento di indirizzi di tipo IPv4 viene inizialmente ipotizzato nei tardi anni '80. La quantità di indirizzi disponibili seguendo una struttura dettata dall'architettura IPv4 erano 4.3 miliardi circa. Inizialmente, questa quantità di indirizzi era sufficiente. Tuttavia, la rapida crescita nell'utilizzo dell'Internet non era sostenuta dall'uso di questo numero, apparentemente grande ma in realtà insufficiente, di indirizzi. Il 31 gennaio del 2011 avviene un primo esaurimento degli indirizzi IPv4 disponibili all'uso con la concessione di due blocchi all'APNIC, l'organizzazione regionale per l'Asia che gestisce l'assegnazione di indirizzi IP, da parte della IANA.¹⁵

Per mitigare l'effetto dell'esaurimento vennero proposte alternative come architetture classful e classless, menzionate precedentemente. Tuttavia, dal 2008 in poi si passa a concentrarsi su proposte da usare in seguito all'esaurimento degli indirizzi, evento ritenuto come inevitabile. Per lo più queste proposte erano

¹⁵Itp.cdn.icann.org. 2021. Available Pool of Unallocated IPv4 Internet Addresses Now Completely Emptied. [online] Available at: <https://itp.cdn.icann.org/en/files/announcements/release-03feb11-en.pdf>. [Accessed 27 May 2021].

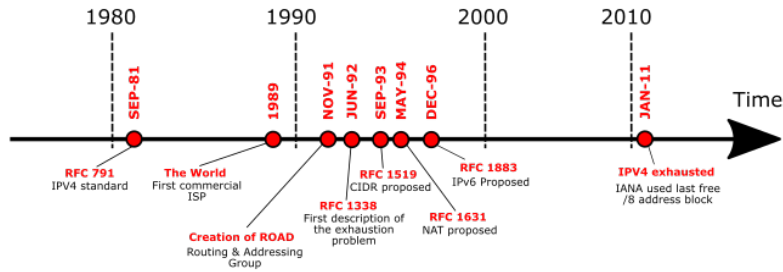


Figura 17: Linea del tempo dell'esaurimento

intenzionate a riciclare gli indirizzi in circolazione o quelli non in uso o trasferiti da un utente all'altro. La vendita di questi indirizzi è resa possibile dalla creazione di mercati appositi. Questo permette di trasferire indirizzi senza costi o investimenti elevati. Inoltre, si erano implementate strategie per permettere l'uso di indirizzi di tipo IPv4 in un sistema basato su indirizzi di tipo IPv6. Tra queste ricordiamo le NAT (Network Address Translation) che permette di creare in collegamento tra indirizzi IPv4 privati e IPv6 pubblici.

Tuttavia, la soluzione finale resta nell'adozione degli indirizzi di tipo Ipv6. Però sono presenti una serie di ostacoli che limitano l'adozione di questa tecnologia su larga scala. Infatti, Google stima che soltanto il 35% dei suoi utenti può usufruire di connessioni basate su indirizzi IPv6 ¹⁶. Per esempio, in Italia Google segnala un'adozione di circa il 4.73% ad Aprile 2021. Inoltre, l'unico ISP (Internet Service Provider) di consumo di massa che fornisce indirizzi di tipo IPv6 per uso pubblico è Fastweb.

¹⁶Google.com. 2021. IPv6 – Google. [online] Available at: <https://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html> [Accessed 28 May 2021].

Bibliografia

- [1] DARPA, *Arpanet - the evolution of arpanet*.
- [2] Google, *Ipv6 – google*.
- [3] N. Higham, *Accuracy and stability of numerical algorithms*, SIAM, 1996.
- [4] IEEE, *Guidelines for use of extended unique identifier (eui), organizationally unique identifier (oui), and company id (cid)*.
- [5] ———, *Mac addresses*.
- [6] ———, *Ieee standard for information technology–telecommunications and information exchange between systems - local and metropolitan area networks–specific requirements - part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications*, IEEE Std 802.11-2020 (Revision of IEEE Std 802.11-2016) (2021), 1–4379.
- [7] G. Barozzi M. Bergamini, *Manuale blu 2.0 di matematica 5 plus*, Zanichelli, 2019.
- [8] NASA, *What are radio waves?*
- [9] R. Nikolassy P. Camagni, *Inform@t - per il liceo scientifico opzione scienze applicate*, Hoepli, 2019.
- [10] Roger Penrose, *The road to reality: a complete guide to the laws of the universe*, Knopf, 2005.
- [11] J. Cutnell K. Johnson D. Young S. Stadler, *I problemi della fisica 3*, Zanichelli, 2015.