

## Sviluppi di Taylor Esercizi risolti

### Esercizio 1

Utilizzando gli sviluppi fondamentali, calcolare gli sviluppi di McLaurin (con resto di Peano) delle funzioni seguenti fino all'ordine  $n$  indicato:

1.  $f(x) = \ln(1 + 3x)$  ( $n = 3$ )
2.  $f(x) = \cos(x^2)$  ( $n = 10$ )
3.  $f(x) = \sqrt{1+x} - \sqrt{1-x}$  ( $n = 3$ )
4.  $f(x) = \sin(x^2) - \sinh(x^2)$  ( $n = 6$ )
5.  $f(x) = e^{x^3} - 1 - \sin(x^3)$  ( $n = 12$ )
6.  $f(x) = (e^{3x} - 1) \sin 2x$  ( $n = 4$ )
7.  $f(x) = (e^{-x} - 1)^3$  ( $n = 4$ )

### Esercizio 2

Calcolare lo sviluppo di Taylor con resto di Peano delle seguenti funzioni nel punto  $x_0$  indicato e fino all'ordine  $n$  richiesto:

1.  $f(x) = e^x$   $x_0 = -1,$  ( $n = 3$ )
2.  $f(x) = \sin x$   $x_0 = \pi/2,$  ( $n = 5$ )
3.  $f(x) = 2 + x + 3x^2 - x^3$   $x_0 = 1,$  ( $n = 2$ )
4.  $f(x) = \ln x$   $x_0 = 2,$  ( $n = 3$ )

### Esercizio 3

Calcolare lo sviluppo di McLaurin con resto di Peano delle seguenti funzioni fino all'ordine  $n$  richiesto:

1.  $f(x) = \ln(1 + \sin x),$  ( $n = 3$ )
2.  $f(x) = \ln(\cos x),$  ( $n = 4$ )
3.  $f(x) = \frac{1}{1 + x + x^2},$  ( $n = 4$ )
4.  $f(x) = \sqrt{\cosh x},$  ( $n = 4$ )

### Esercizio 4

Utilizzando gli sviluppi di Taylor, calcolare l'ordine di infinitesimo e la parte principale (rispetto alla funzione campione usuale) delle seguenti funzioni:

1.  $f(x) = \sin x - x \cos \frac{x}{\sqrt{3}}$   $x \rightarrow 0$

$$2. f(x) = \cosh^2 x - \sqrt{1 + 2x^2} \quad x \rightarrow 0$$

$$3. f(x) = e^{1/x} - e^{\sin(1/x)} \quad x \rightarrow +\infty$$

### Esercizio 5

Utilizzando gli sviluppi di Taylor, calcolare i seguenti limiti:

$$1. \lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^x - 1 + \ln(1 - x)}{\tan x - x}$$

$$2. \lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^{x^2} - \cos x - \frac{3}{2}x^2}{x^4}$$

$$3. \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\log(1 + x \arctan x) + 1 - e^{x^2}}{\sqrt{1 + 2x^4} - 1}$$

$$4. \lim_{x \rightarrow +\infty} \left( x - x^2 \log \left( 1 + \sin \frac{1}{x} \right) \right)$$

$$5. \lim_{x \rightarrow 0} \frac{5^{1+\tan^2 x} - 5}{1 - \cos x}$$

## Svolgimenti

### Esercizio 1

1. Utilizziamo lo sviluppo fondamentale

$$\ln(1 + z) = z - \frac{z^2}{2} + \frac{z^3}{3} + \dots + (-1)^{n+1} \frac{z^n}{n} + o(z^n), \quad (1)$$

operando la sostituzione  $z = 3x$ .

Poiché  $z = 3x \asymp x$  per  $x \rightarrow 0$  si ha che  $o(x) = o(z)$ . Possiamo quindi arrestare lo sviluppo fondamentale a  $n = 3$ , ottenendo:

$$\ln(1 + 3x) = 3x - \frac{(3x)^2}{2} + \frac{(3x)^3}{3} + o(x^3) = 3x - \frac{9x^2}{2} + 9x^3 + o(x^3).$$

2. Utilizziamo lo sviluppo fondamentale

$$\cos z = 1 - \frac{z^2}{2!} + \frac{z^4}{4!} + \dots + (-1)^n \frac{z^{2n}}{(2n)!} + o(z^{2n+1}) \quad (2)$$

e operiamo la sostituzione  $z = x^2$ . Ricordando che  $o((x^m)^n) = o(x^{mn})$ , si ha  $o(z^n) = o(x^{2n})$ ; possiamo quindi troncare lo sviluppo fondamentale al termine in  $z^4$ , ottenendo:

$$\cos x^2 = 1 - \frac{x^4}{2!} + \frac{x^8}{4!} + o(x^{10}).$$

3. Consideriamo lo sviluppo della funzione  $(1+z)^\alpha$  per  $\alpha = 1/2$  arrestandolo al terzo ordine:

$$\sqrt{1+z} = 1 + \frac{z}{2} - \frac{z^2}{8} + \frac{z^3}{16} + o(z^3). \quad (3)$$

Sostituendo in questo sviluppo dapprima  $z = x$  e poi  $z = -x$ , si ha:

$$\begin{aligned} \sqrt{1+x} - \sqrt{1-x} &= \left(1 + \frac{x}{2} - \frac{x^2}{8} + \frac{x^3}{16} + o(x^3)\right) - \left(1 - \frac{x}{2} - \frac{x^2}{8} - \frac{x^3}{16} + o(x^3)\right) \\ &= x + \frac{x^3}{8} + o(x^3). \end{aligned}$$

4. Utilizziamo gli sviluppi fondamentali

$$\sin z = z - \frac{z^3}{3!} + \frac{z^5}{5!} + \dots + (-1)^n \frac{z^{2n+1}}{(2n+1)!} + o(z^{2n+1}), \quad (4)$$

$$\sinh z = z + \frac{z^3}{3!} + \frac{z^5}{5!} + \dots + \frac{z^{2n+1}}{(2n+1)!} + o(z^{2n+1}), \quad (5)$$

sostituendo  $z = x^2$  e osservando che è sufficiente arrestarsi al termine cubico. Si ha

$$\begin{aligned} \sin x^2 - \sinh x^2 &= \left(x^2 - \frac{x^6}{3!} + o(x^6)\right) - \left(x^2 + \frac{x^6}{3!} + o(x^6)\right) \\ &= -\frac{x^6}{3} + o(x^6). \end{aligned}$$

5. Utilizziamo lo sviluppo (4) e lo sviluppo della funzione esponenziale

$$e^z = 1 + z + \frac{z^2}{2!} + \frac{z^3}{3!} + \dots + \frac{z^n}{n!} + o(z^n). \quad (6)$$

Lo sviluppo richiesto è di ordine 12; tenendo conto del fatto che dobbiamo operare la sostituzione  $z = x^3$ , possiamo arrestare lo sviluppo del seno all'ordine 3 e quello dell'esponenziale all'ordine 4. Otteniamo

$$\begin{aligned} f(x) &= e^{x^3} - 1 - \sin(x^3) \\ &= \left(1 + x^3 + \frac{(x^3)^2}{2!} + \frac{(x^3)^3}{3!} + \frac{(x^3)^4}{4!} + o((x^3)^4) - 1\right) - \left(x^3 - \frac{(x^3)^3}{3!} + o((x^3)^4)\right) \\ &= \frac{x^6}{2} + \frac{x^9}{6} + \frac{x^{12}}{24} + \frac{x^9}{6} + o(x^{12}) \\ &= \frac{x^6}{2} + \frac{x^9}{3} + \frac{x^{12}}{24} + o(x^{12}). \end{aligned}$$

6. Utilizziamo gli sviluppi (4) e (6). Viene richiesto lo sviluppo fino al quarto ordine; entrambi i fattori dovranno quindi essere sviluppati almeno fino a tale ordine:

$$\begin{aligned} f(x) &= (e^{3x} - 1) \sin 2x \\ &= \left(1 + 3x + \frac{(3x)^2}{2!} + \frac{(3x)^3}{3!} + \frac{(3x)^4}{4!} + o(x^4) - 1\right) \left(2x - \frac{(2x)^3}{3!} + o(x^4)\right) \\ &= \left(3x + \frac{9x^2}{2} + \frac{9x^3}{2} + \frac{81x^4}{24} + o(x^4)\right) \left(2x - \frac{4x^3}{3} + o(x^4)\right) \end{aligned}$$

Svolgiamo il prodotto, trascurando i termini di ordine superiore al quarto, ottenendo:

$$f(x) = (e^{3x} - 1) \sin 2x = 6x^2 + 9x^3 + 5x^4 + o(x^4).$$

7. Riferendoci allo sviluppo (6) sviluppiamo la funzione  $g(x) = e^{-x} - 1$  fino al quarto ordine:

$$g(x) = e^{-x} - 1 = 1 - x + \frac{(-x)^2}{2!} + \frac{(-x)^3}{3!} + \frac{(-x)^4}{4!} + o(x^4) - 1 = -x + \frac{x^2}{2!} + \frac{-x^3}{3!} + \frac{x^4}{4!} + o(x^4).$$

Lo sviluppo ottenuto deve essere elevato al cubo; tutti i termini che si ottengono sono di grado superiore al quarto, tranne due: il cubo di  $-x$  e il triplo prodotto tra il quadrato di  $-x$  e  $x^2/2$ . Lo sviluppo richiesto si riduce quindi a:

$$f(x) = (e^{-x} - 1)^3 = \left(-x + \frac{x^2}{2!} + \frac{-x^3}{3!} + \frac{x^4}{4!} + o(x^4)\right)^3 = -x^3 + \frac{3x^4}{2} + o(x^4).$$

## Esercizio 2

1. Consideriamo lo sviluppo di McLaurin della funzione esponenziale (6); con la sostituzione  $x + 1 = z$  riconduciamo il calcolo dello sviluppo proposto a quello della funzione  $g(z) = f(z - 1) = e^{z-1}$  con centro  $z_0 = 0$  e arrestato al terzo ordine:

$$e^{z-1} = e^{-1}e^z = e^{-1} \left(1 + z + \frac{z^2}{2!} + \frac{z^3}{3!} + o(z^3)\right)$$

Ritornando alla variabile  $x$  si ha

$$e^x = e^{-1} \left(1 + (x + 1) + \frac{(x + 1)^2}{2!} + \frac{(x + 1)^3}{3!} + o((x + 1)^3)\right).$$

2. Con la sostituzione  $x - \frac{\pi}{2} = z$  ci riconduciamo al calcolo dello sviluppo della funzione  $g(z) = f\left(z + \frac{\pi}{2}\right) = \sin\left(z + \frac{\pi}{2}\right) = \cos z$  con centro  $z_0 = 0$ : possiamo utilizzare lo sviluppo(2) arrestato al quarto ordine. Quindi

$$\sin x = 1 - \frac{\left(x - \frac{\pi}{2}\right)^2}{2!} + \frac{\left(x - \frac{\pi}{2}\right)^4}{4!} + o\left(\left(x - \frac{\pi}{2}\right)^5\right).$$

3. Possiamo utilizzare due metodi per trovare lo sviluppo richiesto. Il primo metodo consiste nell'utilizzare direttamente la formula di Taylor, calcolando  $f(1)$ ,  $f'(1)$  e  $f''(1)$ :

$$f(1) = 5, f'(x) = 1 + 6x - 3x^2, f'(1) = 4, f''(x) = 6 - 6x, f''(1) = 0.$$

Lo sviluppo risulta quindi  $f(x) = 5 + 4(x - 1) + o(x - 1)^2$ .

Il metodo alternativo consiste nell'operare la sostituzione  $x - 1 = t$  e nel calcolare lo sviluppo della funzione  $g(t) = f(t + 1) = 5 + 4t - t^3$ ; essendo richiesto lo sviluppo al secondo ordine, trascuriamo il termine cubico e otteniamo  $g(t) = 5 + 4t + o(t^2)$ ; ritornando alla variabile  $x$  ritroviamo il risultato precedente.

4. Operiamo la sostituzione  $x - 2 = t$ ; dobbiamo sviluppare la funzione  $g(t) = f(t + 2) = \ln(t + 2)$  con centro  $t_0 = 0$ . Dobbiamo ricondurci allo sviluppo (1), arrestandolo al terzo ordine.

Per fare questo scriviamo

$$\ln(t + 2) = \ln 2 \left( 1 + \frac{t}{2} \right) = \ln 2 + \ln \left( 1 + \frac{t}{2} \right)$$

e utilizziamo (1) con la sostituzione  $z = t/2$ , ottenendo:

$$\ln(t + 2) = \ln 2 + \frac{t}{2} - \frac{t^2}{8} + \frac{t^3}{24} + o(t^3)$$

### Esercizio 3

1. Utilizziamo lo sviluppo fondamentale (1); poiché la funzione  $\sin x$  è infinitesima per  $x \rightarrow 0$  possiamo operare la sostituzione  $z = \sin x$ , ottenendo lo sviluppo

$$\ln(1 + \sin x) = \sin x - \frac{(\sin x)^2}{2} + \frac{(\sin x)^3}{3} + o((\sin x)^3). \quad (7)$$

Poiché  $\sin x \sim x$  per  $x \rightarrow 0$ , sia ha che  $o((\sin x)^3) = o(x^3)$ . Per ottenere lo sviluppo richiesto possiamo quindi sviluppare la (7), trascurando in essa i termini di ordine superiore al terzo:

$$\begin{aligned} \ln(1 + \sin x) &= \left( x - \frac{x^3}{6} + o(x^3) \right) - \frac{1}{2} \left( x - \frac{x^3}{6} + o(x^3) \right)^2 + \frac{1}{3} \left( x - \frac{x^3}{6} + o(x^3) \right)^3 + o(x^3) \\ &= x - \frac{x^3}{6} - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} + o(x^3) \\ &= x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{6} + o(x^3). \end{aligned}$$

2. Utilizziamo ancora lo sviluppo fondamentale (1); in questo caso la sostituzione è meno immediata.

Infatti bisogna scrivere la funzione  $\cos x$  nella forma  $1 + z$ , dove  $z$  un infinitesimo per  $x \rightarrow 0$ : essendo  $\cos x = 1 + (\cos x - 1)$ , possiamo porre  $z = \cos x - 1$ . Osserviamo che  $\cos x - 1 \asymp x^2$  per  $x \rightarrow 0$ , per cui  $o(z^2) = o(x^4)$ ; possiamo quindi arrestare lo sviluppo (1) al secondo ordine:

$$\begin{aligned} \ln(1 + (\cos x - 1)) &= (\cos x - 1) - \frac{(\cos x - 1)^2}{2} + o(x^4) \\ &= \left( -\frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{4!} + o(x^4) \right) - \frac{1}{2} \left( -\frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{4!} + o(x^4) \right)^2 \\ &= -\frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^4}{8} + o(x^4) \\ &= -\frac{x^2}{2} - \frac{x^4}{12} + o(x^4). \end{aligned}$$

3. Utilizziamo lo sviluppo fondamentale

$$\frac{1}{1+z} = 1 - z + z^2 - z^3 + \dots + (-1)^n z^n + o(z^n), \quad (8)$$

operando la sostituzione  $z = x + x^2$ ; poiché  $x + x^2 \sim x$  per  $x \rightarrow 0$ , dobbiamo arrestare lo sviluppo ai termini di quarto grado. Si ha quindi:

$$\begin{aligned} \frac{1}{1+x+x^2} &= 1 - (x+x^2) + (x+x^2)^2 - (x+x^2)^3 + (x+x^2)^4 + o(x^4) \\ &= 1 - (x+x^2) + (x^2+2x^3+x^4) - (x^3+3x^4+o(x^4)) + (x^4+o(x^4)) + o(x^4) \\ &= 1 - x + x^3 - x^4 + o(x^4). \end{aligned}$$

4. Dobbiamo tenere conto dello sviluppo (3) e di quello del coseno iperbolico:

$$\cosh z = 1 + \frac{z^2}{2!} + \frac{z^4}{4!} + \dots + \frac{z^{2n}}{(2n)!} + o(z^{2n+1}) \quad (9)$$

Da quest'ultimo sviluppo arrestato al secondo ordine possiamo dedurre che  $\cosh x - 1 = \frac{x^2}{2!} + o(x^2)$ , per cui  $\cosh x - 1 \asymp x^2$  per  $x \rightarrow 0$ ; operata la sostituzione  $z = \cosh x - 1$ , è quindi sufficiente arrestarsi al secondo ordine. Si ha:

$$\begin{aligned} \sqrt{\cosh x} &= \sqrt{1 + (\cosh x - 1)} \\ &= 1 + \frac{(\cosh x - 1)}{2} - \frac{(\cosh x - 1)^2}{8} + o((\cosh x - 1)^2) \\ &= 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{4!} + o(x^4) \right) - \frac{1}{8} \left( \frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{4!} + o(x^4) \right)^2 + o(x^4) \\ &= 1 + \frac{x^2}{4} - \frac{x^4}{96} + o(x^4) \end{aligned}$$

#### Esercizio 4

1. Si considera lo sviluppo (4) e lo sviluppo (2) con la sostituzione  $z = \frac{x}{\sqrt{3}}$ ; non è immediato decidere a priori a quale termine arrestarsi, in quanto si possono avere cancellazioni dei primi termini; possiamo provare ad arrestare lo sviluppo del seno al quinto grado e quello del coseno al quarto. Si ha:

$$\begin{aligned} \sin x - x \cos \frac{x}{\sqrt{3}} &= x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} + o(x^5) - x \left( 1 - \frac{(x/\sqrt{3})^2}{2!} + \frac{(x/\sqrt{3})^4}{4!} + o(x^4) \right) \\ &= \left( x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} + o(x^5) \right) + \left( -x + \frac{x^3}{6} - \frac{x^5}{216} + o(x^5) \right) \\ &= \frac{x^5}{270} + o(x^5) \end{aligned}$$

Possiamo quindi concludere che la p.p. di  $f(x)$  per  $x \rightarrow 0$  è  $x^5/270$  e che l'ordine di infinitesimo è 5.

Osserviamo che la nostra congettura sul termine a cui fermarsi si è rivelata corretta, in quanto ci ha permesso di ottenere la parte principale. Se ci fossimo fermati prima (al terzo grado in (4) e al secondo in (2)) avremmo invece ottenuto uno sviluppo nullo. Poiché, come abbiamo già detto, non è possibile determinare a priori l'ordine a cui fermarsi, si deve "provare", ripetendo eventualmente il calcolo, se il risultato non si rivela significativo.

2. La funzione  $f(x)$  è pari, per cui nel suo sviluppo compaiono solamente potenze pari. Come tentativo, possiamo arrestare gli sviluppi al quarto ordine; tenendo conto di (9) e di (3), si ha:

$$\begin{aligned} f(x) &= \left(1 + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} + o(x^4)\right)^2 - \left(1 + \frac{2x^2}{2} - \frac{4x^4}{8} + o(x^4)\right) \\ &= \left(1 + x^2 + \frac{x^4}{3} + o(x^4)\right) - \left(1 + x^2 - \frac{x^4}{2} + o(x^4)\right) \\ &= \frac{5x^4}{6} + o(x^4). \end{aligned}$$

La funzione  $f(x)$  è quindi infinitesima di ordine 4 per  $x \rightarrow 0$  e la sua p. p. è  $\frac{5x^4}{6}$ .

3. Con la sostituzione  $t = 1/x$  ci riconduciamo allo studio della funzione  $g(t) = e^t - e^{\sin t}$  per  $t \rightarrow 0$ ; possiamo quindi riferirci agli sviluppi (6) e (4). In questo caso non è sufficiente arrestare gli sviluppi al secondo ordine (si svolgano i calcoli per esercizio), ma si deve arrivare al terzo ordine:

$$\begin{aligned} e^t - e^{\sin t} &= \left(1 + t + \frac{t^2}{2!} + \frac{t^3}{3!} + o(t^3)\right) - \left(1 + \sin t + \frac{\sin^2 t}{2!} + \frac{\sin^3 t}{3!} + o((\sin t)^3)\right) \\ &= \left(1 + t + \frac{t^2}{2} + \frac{t^3}{6} + o(t^3)\right) - \left(1 + t - \frac{t^3}{6} + \frac{t^2}{2} + \frac{t^3}{6} + o(t^3)\right) \\ &= +\frac{t^3}{6} + o(t^3) \end{aligned}$$

Quindi

$$f(x) = \frac{1}{6x^3} + o\left(\frac{1}{x^3}\right) \quad (x \rightarrow +\infty).$$

## Esercizio 5

1. Lo sviluppo di McLaurin della funzione tangente, arrestato al quinto ordine, è:

$$\tan z = z + \frac{z^3}{3} + \frac{2z^5}{15} + o(z^5) \quad (10)$$

Lo sviluppo del denominatore è quindi  $\tan x - x = \frac{x^3}{3} + o(x^3)$ ; anche il numeratore deve essere quindi sviluppato almeno al terzo ordine.

Utilizzando gli sviluppi (6) e (1) e arrendoci al terzo ordine abbiamo:

$$\begin{aligned} e^x - 1 + \ln(1 - x) &= \left(1 + x + \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{6} + o(x^3) - 1\right) + \left(-x - \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{3} + o(x^3)\right) = \\ &= -\frac{x^3}{6} + o(x^3). \end{aligned}$$

Quindi possiamo concludere che

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^x - 1 + \ln(1-x)}{\tan x - x} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{-\frac{x^3}{6} + o(x^3)}{\frac{x^3}{3} + o(x^3)} = -\frac{1}{2}.$$

2. Bisogna sviluppare la funzione al numeratore almeno fino al quarto ordine; tenendo conto degli sviluppi (6) e (2) otteniamo

$$e^{x^2} - \cos x - \frac{3}{2}x^2 = \left(1 + x^2 + \frac{x^4}{2} + o(x^4)\right) - \left(1 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{24} + o(x^4)\right) - \frac{3}{2}x^2 = \frac{11}{24}x^4 + o(x^4).$$

Quindi

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^{x^2} - \cos x - \frac{3}{2}x^2}{x^4} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\frac{11}{24}x^4 + o(x^4)}{x^4} = \frac{11}{24}$$

3. Essendo  $\sqrt{1+2x^4}-1 = x^4 + o(x^4)$  per  $x \rightarrow 0$ , dobbiamo calcolare uno sviluppo del quarto ordine della funzione a numeratore. Osserviamo che, essendo  $\arctan x \sim x$  per  $x \rightarrow 0$  si ha che  $x \arctan x \sim x^2$ , per cui  $o(x \arctan x) = o(x^2)$ . Abbiamo quindi il seguente sviluppo per la funzione  $h(x) = \ln(1+x \arctan x) + 1 - e^{x^2}$ :

$$\begin{aligned} h(x) &= \left(x \arctan x - \frac{x^2 \arctan^2 x}{2} + o(x^4)\right) + 1 - \left(1 + x^2 + \frac{x^4}{2} + o(x^4)\right) \\ &= \left(x \left(x - \frac{x^3}{3} + o(x^3)\right) - \frac{x^2}{2} \left(x - \frac{x^3}{3} + o(x^3)\right)^2 + o(x^4)\right) - x^2 - \frac{x^4}{2} + o(x^4) \\ &= x^2 - \frac{5x^4}{6} - x^2 - \frac{x^4}{2} + o(x^4) \\ &= -\frac{4x^4}{3} + o(x^4). \end{aligned}$$

Possiamo concludere che:

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\log(1+x \arctan x) + 1 - e^{x^2}}{\sqrt{1+2x^4}-1} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{-\frac{4x^4}{3} + o(x^4)}{x^4 + o(x^4)} = -\frac{4}{3}.$$

4. Il limite è della forma  $x - g(x)$ , dove  $g(x) = x^2 \ln\left(1 + \sin \frac{1}{x}\right)$ ; bisogna innanzitutto studiare il comportamento della funzione  $g(x)$  per capire se ci troviamo di fronte a una forma indeterminata del tipo  $\infty - \infty$ .

Con la sostituzione  $t = 1/x$  ci riconduciamo a studiare la funzione  $h(t) = g(1/t) = \frac{\ln(1 + \sin t)}{t^2}$  per  $t \rightarrow 0$ . Otteniamo (si tenga presente l'esercizio 3.1):

$$h(t) = \frac{\ln(1 + \sin t)}{t^2} = \frac{t - \frac{t^2}{2} + o(t^2)}{t^2} = \frac{1}{t} - \frac{1}{2} + o(1)$$



per cui

$$g(x) = x^2 \ln \left( 1 + \sin \frac{1}{x} \right) = x - \frac{1}{2} + o(1).$$

Questo risultato ci dice che effettivamente  $x - g(x)$  è una forma indeterminata del tipo  $\infty - \infty$  e nello stesso tempo ci fornisce lo strumento per risolverla; infatti si ha:

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \left( x - x^2 \ln \left( 1 + \sin \frac{1}{x} \right) \right) = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1}{2} + o(1) = \frac{1}{2}.$$

5. Sviluppiamo la funzione al denominatore ed eseguiamo alcuni passaggi algebrici:

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{5^{1+\tan^2 x} - 5}{1 - \cos x} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{5 \left( 5^{\tan^2 x} - 1 \right)}{\frac{x^2}{2} + o(x^2)} = 10 \lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^{\tan^2 x \ln 5} - 1}{x^2 + o(x^2)}.$$

Tenendo conto dello sviluppo (6) e ricordando che  $\tan x \sim x$  per  $x \rightarrow 0$  si ha che:

$$\begin{aligned} e^{\tan^2 x \ln 5} - 1 &= 1 + (\ln 5) \tan^2 x + o(x^2) - 1 = \\ &= \ln 5 \left( x + \frac{x^3}{3} + o(x^3) \right)^2 + o(x^2) \\ &= (\ln 5)x^2 + o(x^2). \end{aligned}$$

Quindi:

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow 0} \frac{5^{1+\tan^2 x} - 5}{1 - \cos x} &= 10 \lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^{\tan^2 x \ln 5} - 1}{x^2 + o(x^2)} \\ &= 10 \lim_{x \rightarrow 0} \frac{(\ln 5)x^2 + o(x^2)}{x^2 + o(x^2)} = 10 \ln 5. \end{aligned}$$

## Limiti di funzioni calcolabili con sviluppo di Taylor

Calcolare i seguenti limiti:

1.  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{(\sinh x)^2 - (\sin x)^2}{(e^{x^4} - 1) \sqrt[3]{2 - x}}$ ;  $\left[ \frac{2}{3\sqrt[3]{2}} \right]$
2.  $\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{\cos\left(x - \frac{\pi}{3}\right)(x^x - 1 - x \ln x)}{x^{2x} - 1 - 2x \ln x}$ ;  $\left[ \frac{1}{8} \right]$
3.  $\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{\sin(1 - x^x)}{\tan x \ln x \arctan\left(\sin\left(\frac{\pi}{2} - x\right)\right)}$ ;  $\left[ -\frac{4}{\pi} \right]$
4.  $\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{(\sin x)^2 - \tan(x^2)}{x^4 \left(\cosh\left(\frac{x}{\sqrt{3}}\right) + 2\right)}$ ;  $\left[ -\frac{1}{9} \right]$
5.  $\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{(x^{2x} - 1 - 2x \ln x) 3^{\sqrt[3]{1-x^2}}}{\sinh(x^2) \ln^2 x}$ ; [6]
6.  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{(e^{-x} + \sin x - \cos x)(e^{-x} + \sin x + \cos x)}{\cos^2 x - \cos(x^2)}$ ; [-2]
7.  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\ln(\cos x) - \ln(e^x - x)}{x \arcsin x \sqrt{2x + \cos(2x)}}$ ; [-1]
8.  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{(1 + \cos \sqrt{x})(5 \cos \sqrt{x} - 5x^x)}{(e^{\sqrt{x}} - \sin \sqrt{x})^2 - 1}$ ;  $[+\infty]$
9.  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{(6 \cosh \sqrt{x} - 6 \cos \sqrt{x})(e^{x^3} - 1)}{15 \sin^2 x - 15(\arcsin x)^2}$ ;  $\left[ -\frac{3}{5} \right]$
10.  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^{\arctan(x-1)}(e^{x^2} - \cosh(x\sqrt{2}))}{(x - \sin x) \tan x}$ ;  $[2e^{-\frac{\pi}{4}}]$
11.  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\frac{\pi}{2} - \arctan x}{x - x^2 \ln\left(1 + \frac{1}{x}\right) - \frac{1}{2}}$ ; [-3]
12.  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{e^{\frac{1}{x}} - \sqrt{1 + \ln\left(1 + \frac{1}{x}\right)}}{\sqrt{\cosh \frac{1}{x}} - \sqrt{\cos \frac{1}{x}}}$ ;  $[+\infty]$
13.  $\lim_{x \rightarrow 0} \left(\frac{1}{2} x^2 + \sqrt{1 + 2 \tan x} - \sin x\right)^{\frac{1}{\sinh x - \arctan x}}$ ;  $[e^2]$
14.  $\lim_{x \rightarrow 0} (1 - \sin x + \arctan x)^{\frac{1}{\sinh x - \sin x}}$ ;  $[e^{-\frac{1}{2}}]$