

ANDAMENTO DELLA CRESCITA DEMOGRAFICA MONDIALE

di Matteo Puzzle
matematicare@hotmail.com
per

<http://it.groups.yahoo.com/group/softwarestrumentitecnologici/>



N.B.: L'autore è grato a chiunque voglia segnalare eventuali imprecisioni, riportate in questo documento, o dati che possano completarlo; sono graditi commenti e suggerimenti. In nessun caso l'autore potrà essere ritenuto responsabile del contenuto e dell'attendibilità di questo documento.

Il presente documento può essere copiato, fotocopiato, riprodotto, a patto che non venga alterata la proprietà dell'autore e il contenuto stesso.



Autore	Matteo Puzzle
Data di creazione	23/7/2004
Versione	1.0
Estensione del file	pdf

Premessa

La crescita demografica mondiale è studiata da molti secoli e riguarda le caratteristiche della popolazione in base all'età, al sesso, alla professione, i mutamenti dovuti alla natalità, alla fertilità, alla mortalità, alle migrazioni, il rapporto tra popolazione e processi sociali, economici e politici. Tuttavia, in questa breve e semplice trattazione, sarà analizzato il solo andamento di crescita della popolazione soprattutto nel corso del XX secolo, di cui ovviamente si hanno dati storici certi, e attraverso lo strumento matematico si è provato a fare delle previsioni future sul tasso di crescita della popolazione mondiale.

Il padre della demografia è John Graunt, il quale nel 1662 pubblicò "Natural and political Observations made upon the Bills of Mortality" (Osservazioni naturalistiche e politiche fatte sui bollettini dei decessi), ma solo nel XVIII secolo che alcuni teorici, come Cantillon, e successivamente i fisiocratici, come Quesnay o Turgot, stabilirono l'esistenza di un rapporto naturale tra la popolazione e i mezzi di sussistenza, per cui questi ultimi determinavano la crescita della prima fino a una soglia limite. Ovviamente questa posizione, da alcuni definita pessimistica, era controbilanciata dalla fede nel progresso economico e sociale. Fu poi ampliata e rielaborata nel XIX secolo, ma con un significato completamente diverso, da Malthus.

Nel suo Saggio sul principio della popolazione (1798), Malthus espose una teoria generale che partiva da giuste premesse ma perveniva a conclusioni errate. Pensava di aver scoperto una legge naturale della popolazione, riassumibile sommariamente in questi termini: la Terra può sostenere un numero limitato di esseri umani; la tendenza naturale è all'incremento della specie senza che le risorse agricole aumentino in proporzione; la conseguenza a lungo termine per la specie umana non può essere che la miseria e la sovrappopolazione. La soluzione che Malthus proponeva di fronte a questo divario crescente tra il numero degli individui e la diminuzione delle risorse pro capite era la limitazione delle nascite, ottenuta praticando la castità e ritardando l'età del matrimonio. Malthus non affermava niente di particolarmente nuovo, ma il suo discorso emotivamente efficace, le sue affermazioni e le sue severe proposte di riforme fecero vacillare le idee precostituite. Il suo impatto sul pensiero economico e sulla demografia fu enorme, nel senso che, cercando di invalidare o confermare le sue teorizzazioni affrettate, gli economisti classici Jean-Baptiste Say e, successivamente, Sismondi e Marx contribuirono alla fondazione di una demografia scientifica. Il pensiero di Malthus influenzò profondamente le politiche degli stati europei tra le due guerre. Ancor oggi, la questione della sovrappopolazione è impostata in termini malthusiani dagli ecologisti, dagli eugenisti e da alcuni stati come l'India o la Cina, che in passato hanno messo in atto politiche autoritarie di limitazione delle nascite. Oggi è generalmente ammesso che non esiste una legge naturale della popolazione e che le sue fluttuazioni sono legate alle condizioni economiche e alle culture dei diversi paesi.

Bisognerà comunque aspettare al secondo dopoguerra per veder riconosciuta la demografia come disciplina a sé stante.

Gli studi della popolazione hanno nelle moderne società delle applicazioni molto importanti e vi fanno ricorso sia le strutture istituzionali (nazionali e internazionali), sia le strutture industriali e finanziarie.

Un particolare ramo di questa disciplina è la demografia statistica, che studia i mutamenti che si verificano all'interno delle popolazioni umane (nascite, matrimoni, morti, malattie). Le statistiche demografiche sono fondamentali per studiare le trasformazioni sociali e per prendere decisioni economiche o legislative. I dati necessari per costruire tali statistiche provengono oggi dai censimenti e da studi appositamente condotti; per ricerche relative al passato, dati e informazioni sono desunti soprattutto dalle anagrafi e dagli archivi

parrocchiali, oppure da archivi privati (ad esempio quelli conservati da medici, notai, ecclesiastici).

Nella statistica demografica uno dei concetti più rilevanti è quello del tasso di natalità, che misura la crescita della popolazione. L'espressione che indica generalmente l'aumento della popolazione in un territorio definito in un dato periodo di tempo è usata talvolta come sinonimo di "incremento demografico".

La demografia e la demografia statistica offrono importanti elementi di riflessione per affrontare temi come il rapporto fra popolazione e benessere economico, fra popolazione e ambiente, fra densità abitativa e trasformazioni ambientali, e soprattutto per inquadrare il tema dei limiti dello sviluppo.

Alla base della breve trattazione matematica affrontata in queste pagine, vi è la consapevolezza che poche "grandezze" in natura possono continuare a crescere in modo esponenziale per periodi di tempo estesi, in quanto la crescita è di solito limitata da vincoli esterni. Ciò coincide sostanzialmente con quanto affermato da Cantillon, e successivamente dai fisiocratici, come Quesnay o Turgot nel XVIII secolo.

L'andamento di crescita che rispecchia tale caratteristica, cioè di una limitazione provocata dall'azione di vincoli esterni verso l'incremento esponenziale di una grandezza, è in termini matematici una *funzione logistica*.

Un esempio classico, utilizzato per comprendere l'andamento della *crescita logistica*, è lo sviluppo di una popolazione di conigli introdotti in un sistema limitato come un'isola. Si supponga che un numero ridotto di conigli (di ambo i sessi) sia introdotto in una piccola isola che in precedenza era senza conigli e senza predatori di conigli. Ci si potrebbe attendere che il numero di conigli, in virtù della loro prolificità, aumenti in modo esponenziale, ma questa crescita sarà limitata alla fine dalla disponibilità di cibo per i conigli sull'isola. Si supponga ulteriormente che l'isola possa produrre una quantità di cibo sufficiente per la sopravvivenza indefinita di una popolazione di L conigli.

Se la popolazione al tempo t conta $y(t)$ conigli, ci si aspetterebbe che $y(t)$ cresca con una rapidità proporzionale a $y(t)$ a condizione che $y(t)$ sia molto piccolo rispetto a L . Ma quando il loro numero aumenta, diventerà sempre più difficile per i conigli trovare cibo sufficiente e allora la loro rapidità di crescita dovrebbe avvicinarsi a zero quando $y(t)$ diventa sempre più vicino al valore di L conigli. Un modello possibile di tale comportamento è l'equazione differenziale:

$$\frac{dy}{dt} = ky \left(1 - \frac{y}{L} \right)$$

che è chiamata **equazione logistica** in quanto descrive una crescita che è limitata dalla disponibilità di risorse necessarie. Si osservi che $dy/dt > 0$ se $0 < y < L$ e che questa rapidità diventa piccola se y è piccola (vi sono pochi conigli che si riproducono) oppure se y è prossimo a L (vi sono quasi tanti conigli quanti le risorse alimentari dell'isola possono alimentare). Si osservi inoltre che $dy/dt < 0$ se $y > L$: se vi sono più animali di quanto le risorse possano sostenere, muoiono più conigli di quanti non ne nascono. Naturalmente le popolazioni stazionarie $y = 0$ e $y = L$ sono soluzioni dell'equazione logistica; in entrambi i casi $dy/dt = 0$.

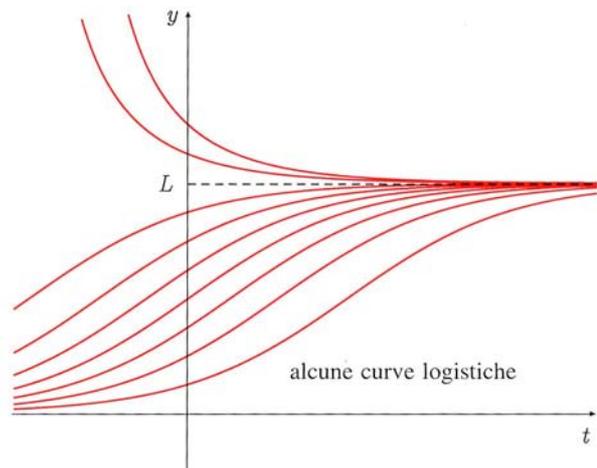


figura 1

La soluzione che soddisfa la condizione iniziale $y(0) = y_0$ è:

$$y = \frac{Ly_0}{y_0 + (L - y_0)e^{-kt}}$$

Si osservi che, come ci si attende, se $0 < y_0 < L$, allora:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = L$$

$$\lim_{t \rightarrow -\infty} y(t) = 0$$

La soluzione mostrata vale anche per $y_0 > L$. Tuttavia in questo caso la soluzione non tende a 0 quando $t \rightarrow -\infty$. Ha invece un asintoto verticale per un determinato valore negativo di t . I grafici delle curve relative ad alcune soluzioni dell'equazione logistica per diversi valori positivi di y_0 sono mostrati in figura 1.

L'analogia con una popolazione di essere umani è evidente: la Terra è un pianeta limitato e finito, come d'altronde lo sono le risorse alimentari e energetiche, non di meno guerre, epidemie e carestie rappresentano fattori limitanti per l'incremento demografico. Quindi la popolazione non può aumentare in modo esponenziale, ma dovrà trovare un punto di equilibrio tra la crescita e i mezzi di sussistenza per sostenere tale crescita; l'equilibrio di ciò è rappresentato dal valore soglia, che in termini matematici è l'asintoto orizzontale superiore $y(t) = L$ della funzione logistica.

In queste poche pagine è illustrato un metodo matematico che approssima con elevata precisione la crescita demografica mondiale.

Il modello matematico utilizzato è la **funzione logistica** nella forma:

$$y(x) = \frac{a}{1 + b \cdot e^{-cx}} + d \quad \text{con } a, b, c, d > 0$$

in cui e indica il numero di Nepero:

$$e = 2,718281828459\dots$$

Considerazioni analitiche preliminari sul modello matematico utilizzato

$$F(x) = \frac{a}{1 + b \cdot e^{-cx}} + d \quad \text{con } c > 0$$

🚧 **Campo di definizione (dominio):**

$$\forall x \in \mathbb{R}$$

🚧 **Antiderivata, derivata prima e comportamento agli estremi:**

$$\int F(x) dx = \frac{a \cdot \ln(e^{cx} + b) + c \cdot d \cdot x}{c} + kost$$

$$\frac{d}{dx} F(x) = \frac{a \cdot b \cdot c \cdot e^{cx}}{(b + e^{cx})^2}$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{a \cdot b \cdot c \cdot e^{cx}}{(b + e^{cx})^2} = 0$$

🚧 **Asintoto orizzontale superiore:**

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(\frac{a}{1 + b \cdot e^{-cx}} + d \right) = a + d \quad \text{con } c > 0$$

🚧 **Concavità della logistica:**

$$\frac{d}{dx} F(x) > 0 \quad \forall x \in \left] -\infty; \frac{\ln b}{c} \right[$$

$$\frac{d}{dx} F(x) < 0 \quad \forall x \in \left] \frac{\ln b}{c}; +\infty \right[$$

🚧 **Derivata seconda, comportamento agli estremi, punto di flesso e tangente al flesso:**

$$\frac{d^2}{dx^2} F(x) = \frac{a \cdot b \cdot c^2 \cdot e^{cx} \cdot (b - e^{cx})}{(b + e^{cx})^3}$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{a \cdot b \cdot c^2 \cdot e^{cx} \cdot (b - e^{cx})}{(b + e^{cx})^3} = 0$$

$$\frac{d^2}{dx^2} F(x) = 0 \Rightarrow \frac{a \cdot b \cdot c^2 \cdot e^{cx} \cdot (b - e^{cx})}{(b + e^{cx})^3} = 0 \Rightarrow x_F = \frac{\ln b}{c}$$

$$\frac{d}{dx} F(x_F) \Rightarrow \frac{d}{dx} F\left(\frac{\ln b}{c}\right) = \frac{a \cdot c}{4}$$

$$y_{x_F} = \frac{a \cdot c}{4} \cdot x + \frac{2 \cdot (a + 2 \cdot d) - a \cdot \ln b}{4}$$

$$P_{flex} \left(\frac{\ln b}{c}; \frac{a + 2 \cdot d}{2} \right)$$

Determinazione della miglior funzione logistica interpolante

Per il calcolo della funzione matematica che approssima al meglio l'andamento della crescita della popolazione nel tempo $p = P(t)$, sono stati determinati mediante calcolatore i quattro coefficienti della funzione logistica interpolante, utilizzando i dati raccolti e diffusi dagli organismi internazionali.

$$\begin{cases} a = 8,962072745613 \\ b = 6,3312856400929 \cdot 10^{35} \\ c = 0,041222030842392 \\ d = 1,4928994148385 \end{cases}$$

Indicando con:

P Popolazione in miliardi (variabile dipendente)

t Anno (variabile indipendente)

Quindi, sostituendo il valore numerico ai coefficienti simbolici a, b, c, d e sfruttando le relazioni analitiche calcolate precedentemente, si ottiene:

$$P(t) = \frac{8,962072745613}{1 + 6,3312856400929 \cdot 10^{35} \cdot e^{-0,041222030842392 \cdot t}} + 1,4928994148385$$

$$P_{\max} = \lim_{t \rightarrow \infty} P(t) = a + d = 8,962072745613 + 1,4928994148385 \approx 10,46$$

$$\ddot{P} = 0 \Rightarrow \frac{d^2}{dt^2} P(t) = 0 \Rightarrow t = \frac{\ln b}{c} \Rightarrow t = \frac{\ln(6,3312856400929)}{0,041222030842392} \Rightarrow t \approx 2000$$

In definitiva, l'equazione matematica che meglio approssima la crescita demografica mondiale è rappresentata dalla funzione logistica (grafico 1):

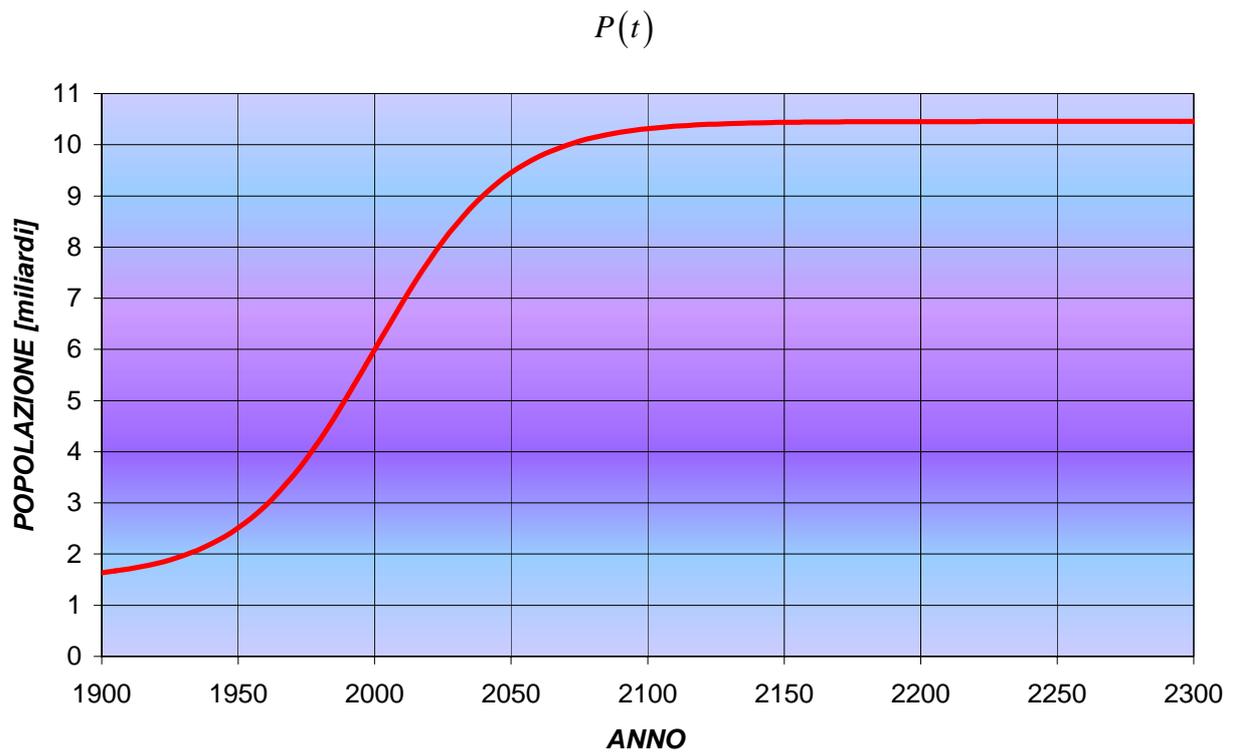
$$P(t) = \frac{8,962072745613}{1 + 6,3312856400929 \cdot 10^{35} \cdot e^{-0,041222030842392 \cdot t}} + 1,4928994148385$$

in cui P rappresenta la popolazione mondiale espressa in miliardi e t è il tempo, indicato in anni.

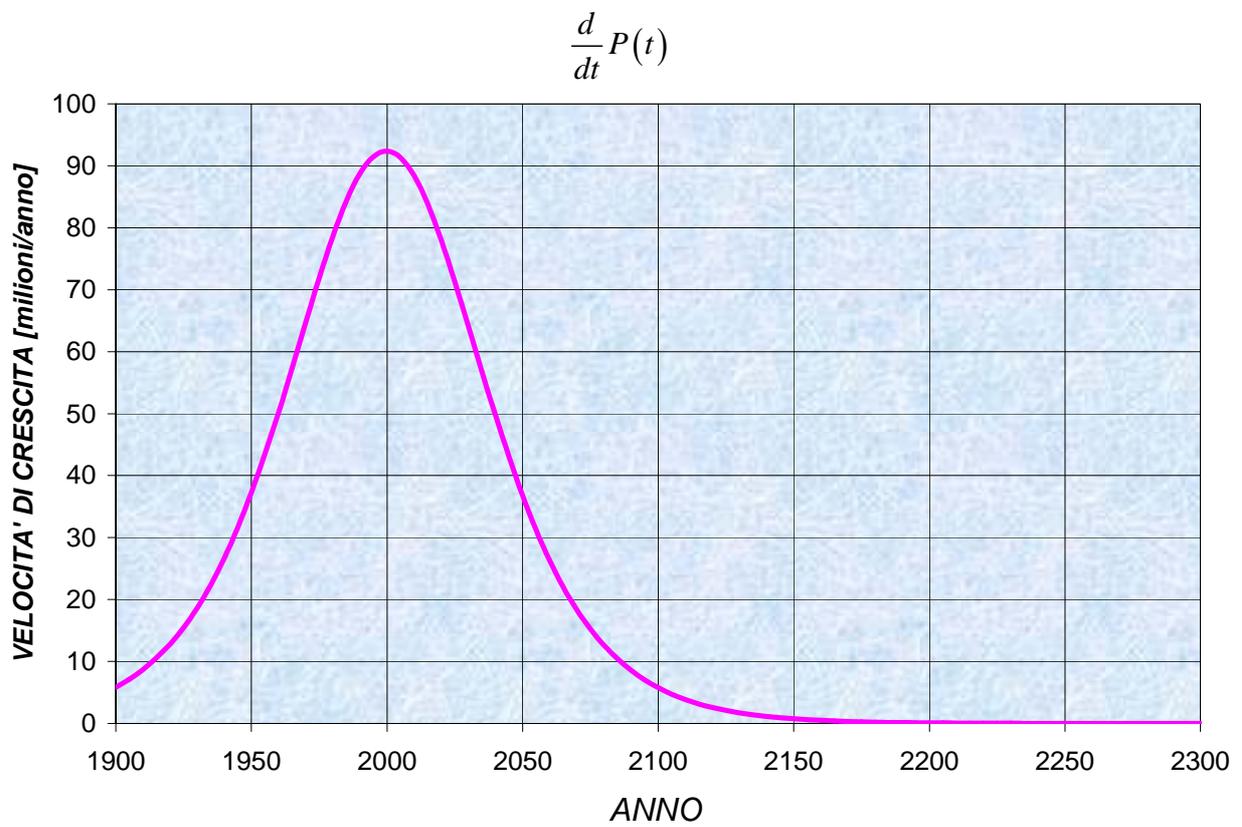
Da questo modello matematico si evince che:

- 1) La crescita della popolazione mondiale non supererà mai il numero di 10,5 miliardi di persone, rappresentato dall'asintoto orizzontale superiore, attestandosi però a valori di poco inferiori.
- 2) Nell'anno 2000 vi è stata una inversione di tendenza, determinata nel punto di flesso, poiché la popolazione mondiale, pur continuando a crescere, ha abbassato il "ritmo" della crescita (grafico 2 e 3) per raggiungere nel corso di un secolo (2100) il valore costante di circa 10,3 miliardi di persone (grafico 1).
- 3) Dal 2150 il numero della popolazione mondiale rimarrà pressoché invariato nel tempo, contando circa 10,4 miliardi di persone (si veda il grafico 1 e 4). Ciò significa che mediamente ogni donna avrà 2,1 figli (la parte decimale tiene conto della mortalità infantile) che assicureranno una popolazione costante nel tempo.
- 4) Il punto di flesso $P_{flex} \approx (2000; 6)$ è il punto di simmetria della funzione logistica, per cui quanto accaduto sino all'anno 2000, si ripeterà all'indomani dello stesso anno ma in maniera esattamente opposta. In altre parole, la rapida crescita della popolazione sino all'anno 2000, sarà seguita da un ugualmente rapido rallentamento della crescita.

CRESCITA DELLA POPOLAZIONE MONDIALE - grafico 1

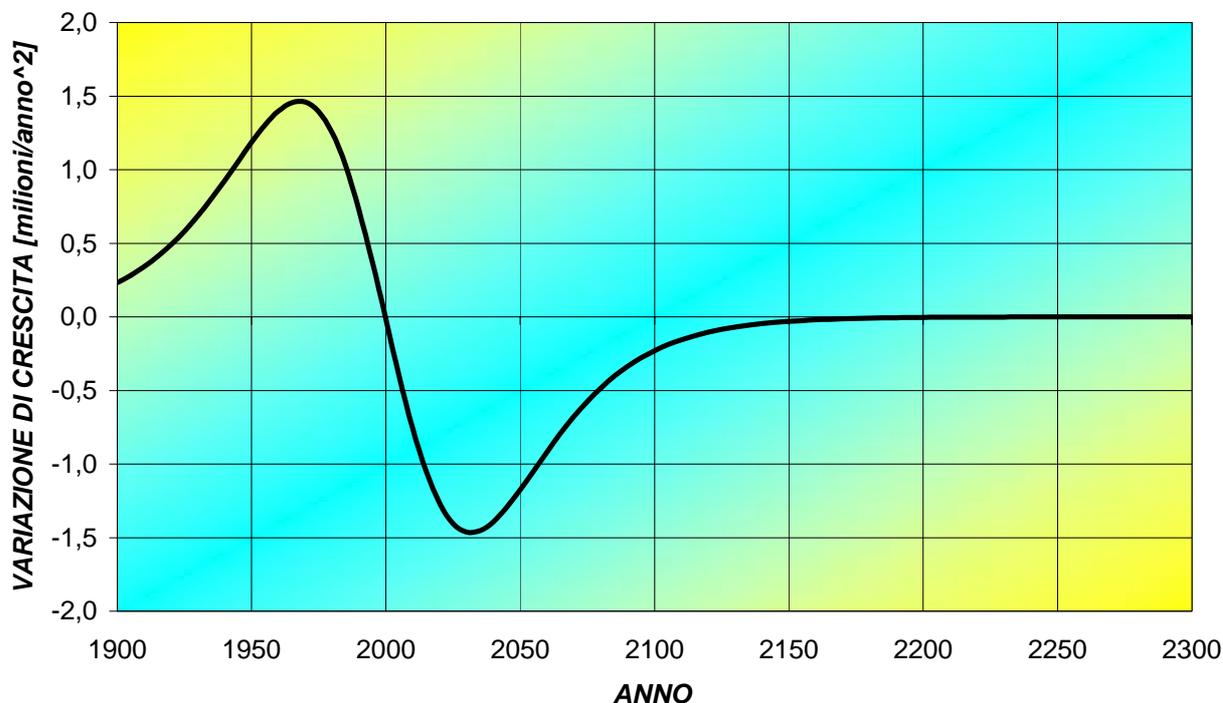


CRESCITA ANNUA DELLA POPOLAZIONE MONDIALE - grafico 2



**VARIAZIONE DELLA VELOCITA' DI CRESCITA DELLA
POPOLAZIONE MONDIALE - grafico 3**

$$\frac{d^2}{dt^2} P(t)$$



Riepilogando, il grafico 1 rappresenta l'equazione logistica che meglio approssima l'andamento della crescita della popolazione mondiale nel tempo; il grafico 2 altro non è che la derivata prima della logistica (grafico 1) ed esprime la crescita annua della popolazione mondiale, cioè la differenza tra le nascite e le morti (ovviamente le prime superano le seconde). Si può facilmente osservare nel grafico 2, caratterizzato dalla forma a "campana" e simmetrico rispetto all'asse $t = 2000$, che vi è stato un picco di nascite nel 2000 pari uno scarto di 92 milioni di nuovi individui rispetto ai deceduti dello stesso anno. Sino al 2000 è stato un incremento di nascite, poi, dall'anno 2000 questa "inversione di tendenza" porterà col trascorrere dei secoli ad un numero annuo di nascite pari al numero di morti mantenendo così la popolazione sostanzialmente costante nel tempo; ciò è molto evidente a partire dall'anno 2150 in poi. Infatti, al limite:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left(\frac{d}{dt} P(t) \right) = 0$$

Il grafico 3, ottenuto dalla derivazione seconda della logistica (grafico 1), è la variazione annua della differenza tra le nascite e le morti. Fisicamente può interpretarsi come "l'accelerazione" della crescita della popolazione mondiale; essa ha raggiunto il massimo assoluto nel 1968 in cui la popolazione aumentò di 1,5 milioni unità rispetto all'anno precedente, mentre raggiungerà il minimo assoluto nel 2032 contando un decremento di 1,5 milioni di persone rispetto all'anno precedente (entrambi gli anni coincidono ovviamente con i due punti di flesso del grafico 2).

Da notarsi la simmetria di tale funzione rispetto al punto individuato dalle coordinate cartesiane (0,2000).

In termini matematici, l'analisi della variazione annua della differenza tra le nascite e i decessi è data dalla derivata terza dell'equazione logistica della crescita demografica mondiale:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d^3}{dt^3} P(t) &= \frac{a \cdot b \cdot c^3 \cdot e^{c \cdot t} \cdot (e^{2 \cdot c \cdot t} - 4 \cdot b \cdot e^{c \cdot t} + b^2)}{(e^{c \cdot t} + b)^4} \\ \ddot{P} = 0 \Rightarrow \frac{d^2}{dt^2} P(t) = 0 \Rightarrow t_{\max, \min} &= \frac{\ln(b \cdot (2 \mp \sqrt{3}))}{c} \Rightarrow \begin{cases} t_{\max} \approx 1968 \\ t_{\min} \approx 2032 \end{cases} \end{aligned} \right.$$

Quest'ultimo grafico (numero 3) è la riconferma di quanto affermato in precedenza; dal 2150 la popolazione mondiale rimarrà pressoché invariata con il trascorre del tempo, giacché:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left(\frac{d^2}{dt^2} P(t) \right) = 0$$

Per conoscere la popolazione mondiale media annua che ha vissuto un determinato periodo storico, si imposta il calcolo del valor medio della funzione logistica della crescita demografica in un dato intervallo chiuso $[t_1; t_2]$:

$$P_m = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$$

$$P_m = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{a}{1 + b \cdot e^{-c \cdot t}} + d \right) dt$$

$$P_m = \frac{a \cdot \ln(e^{c \cdot t_1} + b) - a \cdot \ln(e^{c \cdot t_2} + b) + c \cdot d \cdot (t_1 - t_2)}{c \cdot (t_1 - t_2)}$$

Indicando $\Delta t = t_2 - t_1 \Rightarrow \Delta t > 0$:

$$P_m = \frac{a \cdot \ln(e^{c \cdot t_2} + b) + c \cdot d \cdot \Delta t - a \cdot \ln(e^{c \cdot t_1} + b)}{c \cdot \Delta t}$$

Ad esempio, il XX secolo è stato mediamente popolato da quasi 3 miliardi di persone all'anno (grafico 5):

$$P_m^{XX} = \frac{a \cdot \ln(e^{c \cdot 2000} + b) + c \cdot d \cdot 100 - a \cdot \ln(e^{c \cdot 1900} + b)}{c \cdot 100} \approx 2,97 \text{ mld}$$

Mentre per il secolo in corso:

$$P_m^{XXI} = \frac{a \cdot \ln(e^{c \cdot 2100} + b) + c \cdot d \cdot 100 - a \cdot \ln(e^{c \cdot 2000} + b)}{c \cdot 100} \approx 8,99 \text{ mld}$$

E' evidente l'aumento della media della popolazione tra i due secoli; con il XXI secolo la popolazione mondiale si è mediamente triplicata rispetto al secolo precedente (grafico 5).

Può altresì ottenersi la popolazione di un determinato anno \overline{P}_m (può intendersi come la popolazione di un dato "istante"), imponendo il $\Delta t \rightarrow 0$, quindi facendo tendere il valore t_1 a t_2 o viceversa:

$$\overline{P}_m = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (P_m) = \lim_{t_1 \rightarrow t_2} \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt \right)$$

$$\overline{P}_m = \lim_{t_1 \rightarrow t_2} \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{a}{1 + b \cdot e^{-c \cdot t}} + d \right) dt \right) = \lim_{t_1 \rightarrow t_2} \frac{a \cdot \ln(e^{c \cdot t_1} + b) - a \cdot \ln(e^{c \cdot t_2} + b) + c \cdot d \cdot (t_1 - t_2)}{c \cdot (t_1 - t_2)}$$

Si ricava così la popolazione mondiale in un dato anno T :

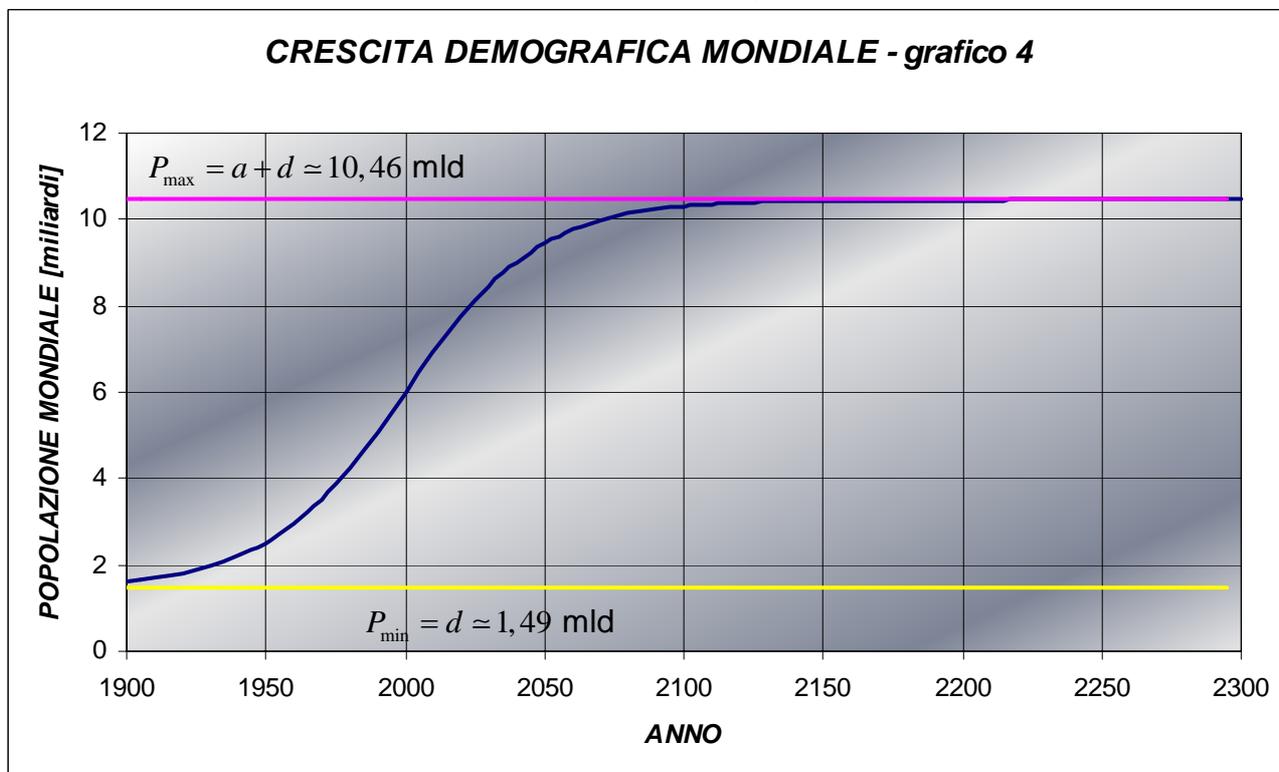
$$\overline{P}_m = \frac{e^{c \cdot T} \cdot (a + d) + b \cdot d}{e^{c \cdot T} + b}$$

Da notarsi che quest'ultima equazione è equivalente alla funzione logistica (grafico 1) della crescita demografica mondiale; infatti, per esempio, per $T = 2000 \Rightarrow \overline{P}_m \approx 5,99$ mld o per $T = 1900 \Rightarrow \overline{P}_m \approx 1,63$ mld.

Tuttavia, questo modello matematico, descritto in questa breve analisi, è applicabile per la storia più recente e soprattutto per fare previsioni future sulla crescita della popolazione mondiale; mentre non è possibile utilizzarlo per stimare la popolazione in tempi antichi, poiché (grafico 4 e 5):

$$\lim_{t \rightarrow -\infty} P(t) = \lim_{t \rightarrow -\infty} \left(\frac{a}{1 + b \cdot e^{-c \cdot t}} + d \right) = d \quad \text{con } c > 0$$

Quindi risulterebbe che in un tempo infinitamente antico vi fossero quasi 1,5 miliardi di individui sulla terra! Ma ciò, come è ovvio immaginare, non è assolutamente vero!



In ultima analisi, il 1960 coincide con il valore della popolazione mondiale media annua che ha vissuto nel XX secolo, pari a 2,97 miliardi, analogamente per il secolo XXI l'anno sarà il 2039 (grafico 5).

Per il calcolo dell'anno in cui la popolazione mondiale è pari alla media calcolata per un determinato periodo di tempo, si imposta:

$$P_m = P(t) \Rightarrow \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt = P(t)$$

$$\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{a}{1 + b \cdot e^{-c \cdot t}} + d \right) dt = \frac{a}{1 + b \cdot e^{-c \cdot t}} + d$$

svolgendo l'equazione di sopra si ottiene, esplicitando t , "l'anno medio":

$$t_m = \frac{1}{c} \cdot \ln \left(- \frac{b \cdot \ln(R)}{\ln(R) + c \cdot (t_2 - t_1)} \right) \quad \text{con } R = \frac{e^{c \cdot t_1} + b}{e^{c \cdot t_2} + b}$$

sostituendo $\Delta t = t_2 - t_1 \Rightarrow \Delta t > 0$:

$$t_m = \frac{1}{c} \cdot \ln \left(-\frac{b \cdot \ln(R)}{\ln(R) + c \cdot \Delta t} \right)$$

Applicando quanto appena ottenuto per il XX secolo, si ricava:

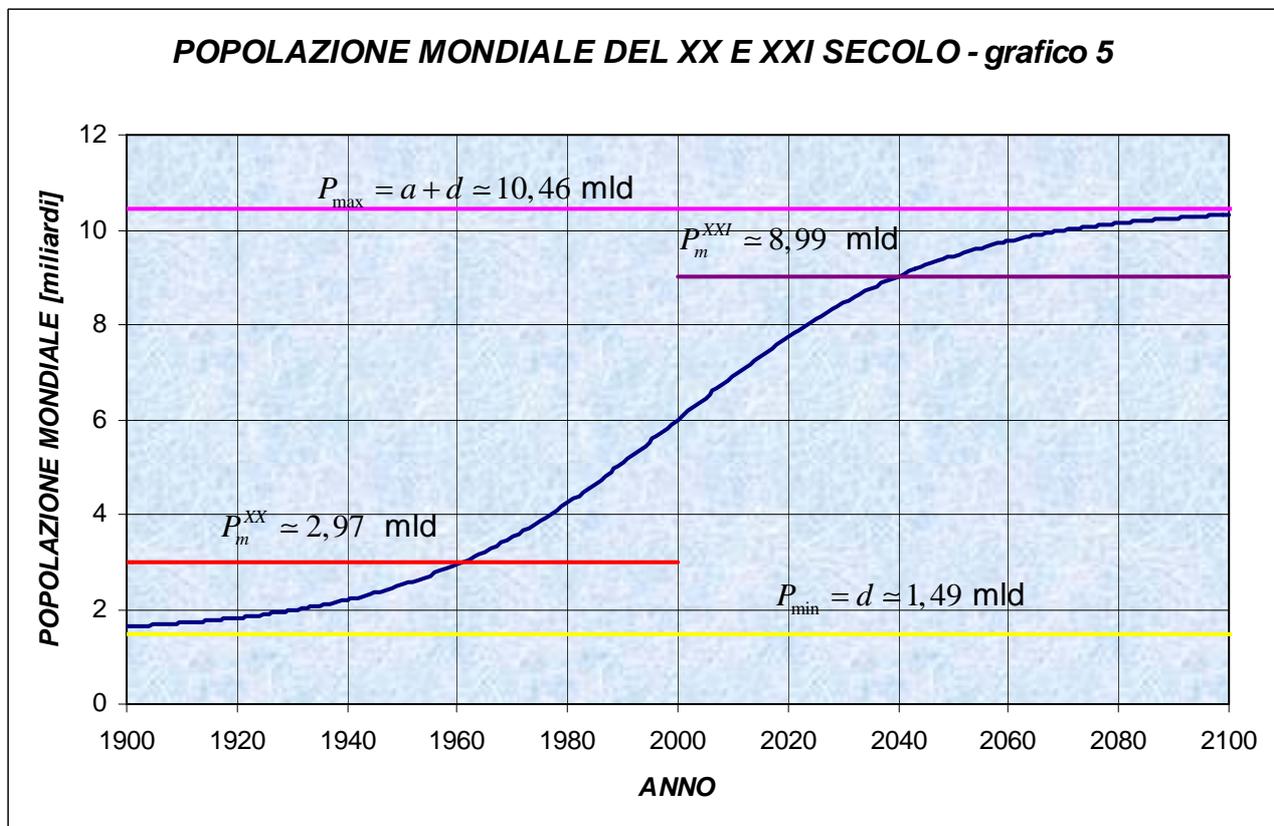
$$t_m^{XX} = \frac{1}{c} \cdot \ln \left(-\frac{b \cdot \ln(R)}{\ln(R) + c \cdot 100} \right) \quad \text{con} \quad R = \frac{e^{c \cdot 1900} + b}{e^{c \cdot 2000} + b}$$

$$t_m^{XX} \approx 1960$$

Per il XXI secolo è invece l'anno:

$$t_m^{XXI} = \frac{1}{c} \cdot \ln \left(-\frac{b \cdot \ln(R)}{\ln(R) + c \cdot 100} \right) \quad \text{con} \quad R = \frac{e^{c \cdot 2000} + b}{e^{c \cdot 2100} + b}$$

$$t_m^{XXI} \approx 2039$$



CURIOSITA': Se dovesse risultare vero, che i sistemi che seguono un andamento di tipo logistico cessano di esistere quando giungono al 95% della loro crescita massima teorica, all'umanità non resterebbero che alcuni decenni di esistenza, precisamente sino al 2068, perché:

$$95\% P(t) = \frac{a + d}{0,95}$$

$$\frac{a}{1 + b \cdot e^{-c \cdot t}} + d = \frac{a + d}{0,95}$$

$$T_F \approx 2068$$

Fortunatamente l'esistenza umana, come tutti i fenomeni sociali, non è deterministica, perciò le previsioni della fine del mondo l'uomo saggio le lascia fare a chi ignora.

TABULAZIONE DEI GRAFICI

GRAFICO 1 – parte prima

Periodo: 1900 -2300

 Δt anni: 5

ANNO	POPOLAZIONE MONDIALE (miliardi)	ANNO	POPOLAZIONE MONDIALE (miliardi)
1900	1,637	2105	10,339
1905	1,669	2110	10,361
1910	1,709	2115	10,378
1915	1,757	2120	10,392
1920	1,815	2125	10,404
1925	1,885	2130	10,413
1930	1,970	2135	10,421
1935	2,073	2140	10,427
1940	2,195	2145	10,432
1945	2,340	2150	10,437
1950	2,512	2155	10,440
1955	2,714	2160	10,443
1960	2,948	2165	10,445
1965	3,217	2170	10,447
1970	3,522	2175	10,448
1975	3,864	2180	10,450
1980	4,240	2185	10,451
1985	4,648	2190	10,451
1990	5,081	2195	10,452
1995	5,532	2200	10,453
2000	5,992	2205	10,453
2005	6,452	2210	10,453
2010	6,902	2215	10,454
2015	7,333	2220	10,454
2020	7,738	2225	10,454
2025	8,112	2230	10,454
2030	8,451	2235	10,454
2035	8,753	2240	10,455
2040	9,020	2245	10,455
2045	9,251	2250	10,455
2050	9,450	2255	10,455
2055	9,620	2260	10,455
2060	9,763	2265	10,455
2065	9,884	2270	10,455
2070	9,985	2275	10,455
2075	10,069	2280	10,455
2080	10,138	2285	10,455
2085	10,195	2290	10,455
2090	10,243	2295	10,455
2095	10,281	2300	10,455
2100	10,313		

GRAFICO 1 – parte seconda

Periodo: 1950 -2050

Δt anni: 1

ANNO	POPOLAZIONE MONDIALE (miliardi)	ANNO	POPOLAZIONE MONDIALE (miliardi)
1950	2,512	2001	6,084
1951	2,550	2002	6,177
1952	2,589	2003	6,269
1953	2,629	2004	6,361
1954	2,671	2005	6,452
1955	2,714	2006	6,543
1956	2,758	2007	6,634
1957	2,803	2008	6,724
1958	2,850	2009	6,813
1959	2,898	2010	6,902
1960	2,948	2011	6,990
1961	2,999	2012	7,077
1962	3,051	2013	7,164
1963	3,105	2014	7,249
1964	3,160	2015	7,333
1965	3,217	2016	7,417
1966	3,275	2017	7,499
1967	3,335	2018	7,580
1968	3,396	2019	7,660
1969	3,458	2020	7,738
1970	3,522	2021	7,816
1971	3,588	2022	7,892
1972	3,655	2023	7,967
1973	3,723	2024	8,040
1974	3,793	2025	8,112
1975	3,864	2026	8,183
1976	3,936	2027	8,252
1977	4,010	2028	8,320
1978	4,086	2029	8,386
1979	4,162	2030	8,451
1980	4,240	2031	8,514
1981	4,319	2032	8,576
1982	4,400	2033	8,637
1983	4,481	2034	8,696
1984	4,564	2035	8,753
1985	4,648	2036	8,809
1986	4,732	2037	8,864
1987	4,818	2038	8,917
1988	4,905	2039	8,969
1989	4,992	2040	9,020
1990	5,081	2041	9,069
1991	5,170	2042	9,116
1992	5,259	2043	9,162
1993	5,350	2044	9,207
1994	5,440	2045	9,251
1995	5,532	2046	9,293
1996	5,623	2047	9,334
1997	5,715	2048	9,374
1998	5,807	2049	9,413
1999	5,900	2050	9,450
2000	5,992		

GRAFICO 2 – parte prima

Periodo: 1900 -2300

Δt anni: 5

ANNO	CRESCITA ANNUA DELLA POPOLAZIONE (milioni/anno)	ANNO	CRESCITA ANNUA DELLA POPOLAZIONE (milioni/anno)
1900	5,844	2105	4,710
1905	7,129	2110	3,851
1910	8,683	2115	3,146
1915	10,553	2120	2,568
1920	12,796	2125	2,095
1925	15,469	2130	1,709
1930	18,634	2135	1,393
1935	22,351	2140	1,135
1940	26,671	2145	0,925
1945	31,632	2150	0,753
1950	37,242	2155	0,613
1955	43,474	2160	0,499
1960	50,242	2165	0,407
1965	57,397	2170	0,331
1970	64,710	2175	0,269
1975	71,878	2180	0,219
1980	78,531	2185	0,179
1985	84,267	2190	0,145
1990	88,688	2195	0,118
1995	91,459	2200	0,096
2000	92,357	2205	0,078
2005	91,307	2210	0,064
2010	88,397	2215	0,052
2015	83,860	2220	0,042
2020	78,038	2225	0,034
2025	71,329	2230	0,028
2030	64,137	2235	0,023
2035	56,826	2240	0,019
2040	49,695	2245	0,015
2045	42,964	2250	0,012
2050	36,779	2255	0,010
2055	31,219	2260	0,008
2060	26,310	2265	0,007
2065	22,039	2270	0,005
2070	18,367	2275	0,004
2075	15,243	2280	0,004
2080	12,605	2285	0,003
2085	10,394	2290	0,002
2090	8,550	2295	0,002
2095	7,019	2300	0,002
2100	5,753		

GRAFICO 2 – parte seconda

Periodo: 1950 -2050
 Δt anni: 1

ANNO	CRESCITA ANNUA DELLA POPOLAZIONE (milioni/anno)	ANNO	CRESCITA ANNUA DELLA POPOLAZIONE (milioni/anno)
1950	37,242	2001	92,303
1951	38,441	2002	92,170
1952	39,664	2003	91,959
1953	40,911	2004	91,671
1954	42,181	2005	91,307
1955	43,474	2006	90,869
1956	44,788	2007	90,356
1957	46,123	2008	89,772
1958	47,478	2009	89,119
1959	48,851	2010	88,397
1960	50,242	2011	87,610
1961	51,648	2012	86,760
1962	53,068	2013	85,850
1963	54,501	2014	84,882
1964	55,944	2015	83,860
1965	57,397	2016	82,786
1966	58,855	2017	81,663
1967	60,318	2018	80,496
1968	61,783	2019	79,286
1969	63,248	2020	78,038
1970	64,710	2021	76,754
1971	66,166	2022	75,438
1972	67,614	2023	74,093
1973	69,051	2024	72,722
1974	70,473	2025	71,329
1975	71,878	2026	69,917
1976	73,262	2027	68,489
1977	74,623	2028	67,048
1978	75,957	2029	65,596
1979	77,261	2030	64,137
1980	78,531	2031	62,674
1981	79,765	2032	61,209
1982	80,959	2033	59,744
1983	82,109	2034	58,283
1984	83,213	2035	56,826
1985	84,267	2036	55,377
1986	85,268	2037	53,938
1987	86,214	2038	52,510
1988	87,101	2039	51,095
1989	87,926	2040	49,695
1990	88,688	2041	48,311
1991	89,383	2042	46,945
1992	90,010	2043	45,597
1993	90,566	2044	44,270
1994	91,050	2045	42,964
1995	91,459	2046	41,680
1996	91,793	2047	40,419
1997	92,051	2048	39,181
1998	92,231	2049	37,968
1999	92,333	2050	36,779
2000	92,357		

GRAFICO 3 – parte prima

Periodo: 1900 -2300

Δt anni: 5

ANNO	VARIAZIONE CRESCITA ANNUA (milioni/anno ²)	ANNO	VARIAZIONE CRESCITA ANNUA (milioni/anno ²)
1900	0,233	2105	-0,189
1905	0,282	2110	-0,155
1910	0,341	2115	-0,127
1915	0,409	2120	-0,104
1920	0,490	2125	-0,085
1925	0,582	2130	-0,070
1930	0,686	2135	-0,057
1935	0,802	2140	-0,046
1940	0,927	2145	-0,038
1945	1,057	2150	-0,031
1950	1,186	2155	-0,025
1955	1,304	2160	-0,021
1960	1,399	2165	-0,017
1965	1,456	2170	-0,014
1970	1,459	2175	-0,011
1975	1,395	2180	-0,009
1980	1,253	2185	-0,007
1985	1,028	2190	-0,006
1990	0,729	2195	-0,005
1995	0,372	2200	-0,004
2000	-0,015	2205	-0,003
2005	-0,402	2210	-0,003
2010	-0,755	2215	-0,002
2015	-1,049	2220	-0,002
2020	-1,267	2225	-0,001
2025	-1,403	2230	-0,001
2030	-1,461	2235	-0,001
2035	-1,453	2240	-0,001
2040	-1,392	2245	-0,001
2045	-1,295	2250	-0,001
2050	-1,176	2255	0,000
2055	-1,047	2260	0,000
2060	-0,917	2265	0,000
2065	-0,793	2270	0,000
2070	-0,678	2275	0,000
2075	-0,574	2280	0,000
2080	-0,483	2285	0,000
2085	-0,404	2290	0,000
2090	-0,336	2295	0,000
2095	-0,278	2300	0,000
2100	-0,230		

GRAFICO 3 – parte seconda

Periodo: 1950 -2050

Δt anni: 1

ANNO	VARIAZIONE CRESCITA ANNUA (milioni/anno ²)	ANNO	VARIAZIONE CRESCITA ANNUA (milioni/anno ²)
1950	1,186	2001	-0,094
1951	1,211	2002	-0,172
1952	1,235	2003	-0,249
1953	1,259	2004	-0,326
1954	1,282	2005	-0,402
1955	1,304	2006	-0,476
1956	1,325	2007	-0,548
1957	1,345	2008	-0,619
1958	1,364	2009	-0,688
1959	1,382	2010	-0,755
1960	1,399	2011	-0,819
1961	1,414	2012	-0,881
1962	1,427	2013	-0,939
1963	1,438	2014	-0,996
1964	1,448	2015	-1,049
1965	1,456	2016	-1,099
1966	1,461	2017	-1,146
1967	1,464	2018	-1,189
1968	1,465	2019	-1,230
1969	1,464	2020	-1,267
1970	1,459	2021	-1,301
1971	1,452	2022	-1,331
1972	1,443	2023	-1,358
1973	1,430	2024	-1,382
1974	1,414	2025	-1,403
1975	1,395	2026	-1,421
1976	1,373	2027	-1,435
1977	1,348	2028	-1,447
1978	1,319	2029	-1,456
1979	1,288	2030	-1,461
1980	1,253	2031	-1,465
1981	1,214	2032	-1,465
1982	1,172	2033	-1,463
1983	1,128	2034	-1,459
1984	1,079	2035	-1,453
1985	1,028	2036	-1,444
1986	0,974	2037	-1,434
1987	0,917	2038	-1,422
1988	0,857	2039	-1,408
1989	0,794	2040	-1,392
1990	0,729	2041	-1,375
1991	0,661	2042	-1,357
1992	0,592	2043	-1,337
1993	0,520	2044	-1,317
1994	0,447	2045	-1,295
1995	0,372	2046	-1,273
1996	0,296	2047	-1,249
1997	0,219	2048	-1,226
1998	0,141	2049	-1,201
1999	0,063	2050	-1,176
2000	-0,015		