

Seminario sulla stima parametrica dei costi
- CERs Cost Estimating Relationships

Dott. **Marco Fioriti**

Research Assistant

Dipartimento di Ing. Meccanica e Aerospaziale

Politecnico di Torino



**POLITECNICO
DI TORINO**

Modelli parametrici

- CERs Cost Estimating Relationships

I modelli parametrici si basano sull'utilizzo delle CERs. Esse sono le equazioni statistiche che legano il costo ai parametri di progetto.

Le CERs sono così costituite:

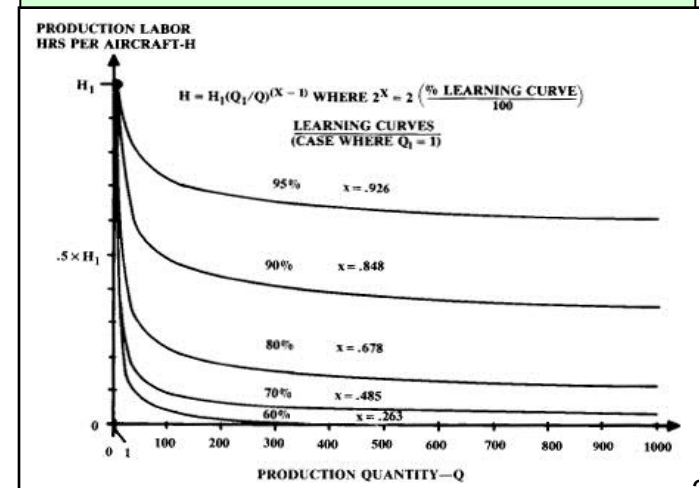
$$Cost_i = A_i \cdot W_i^B \cdot X_i^C \cdot Q^{-K}$$

Componente costante
che attribuisce il costo all'unità di peso (e altri parametri) di ogni sottosistema

Caratteristiche dimensionali del sistema/componente
(es. peso, dimensioni, ecc.)

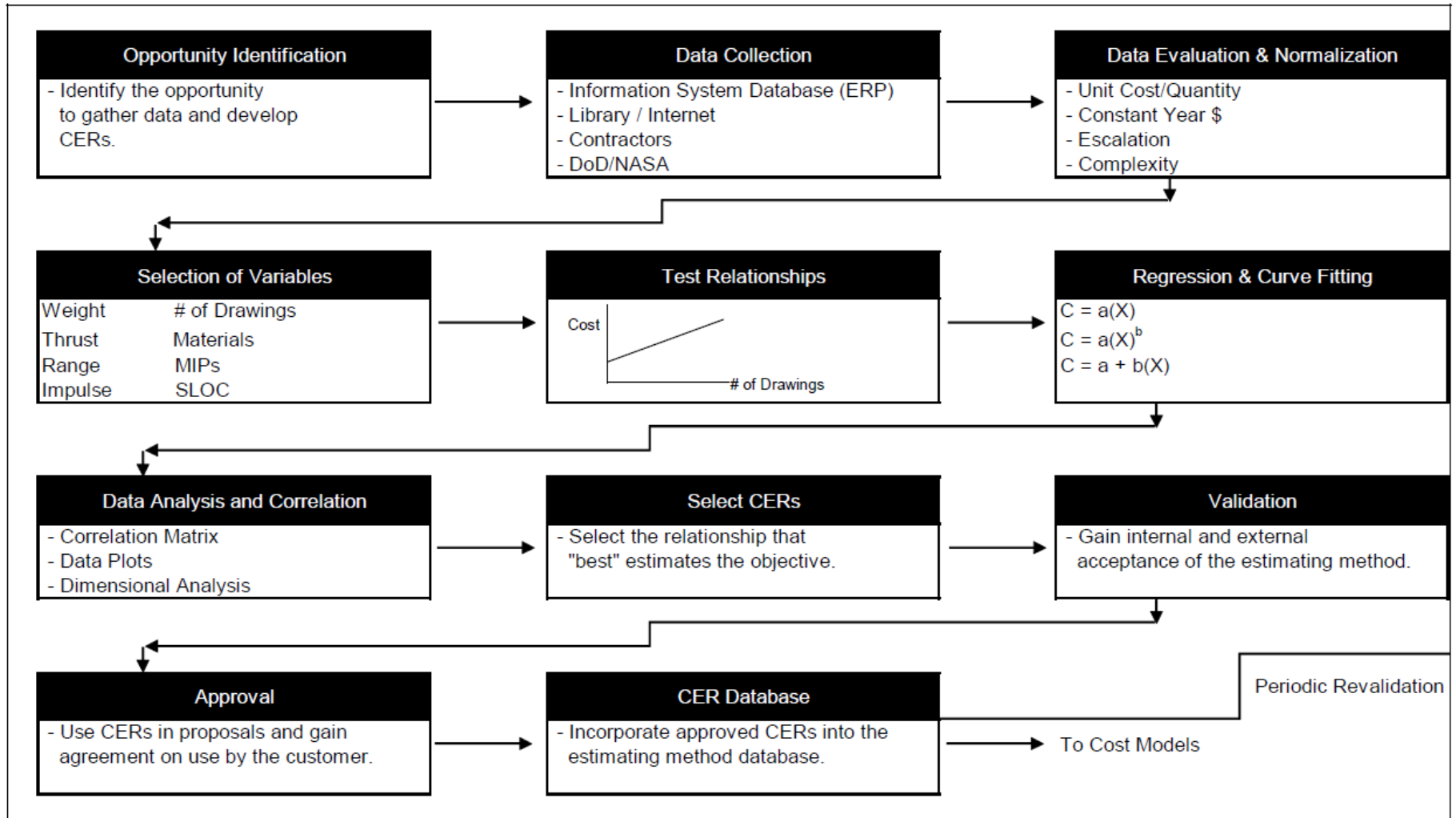
Caratteristiche prestazionali del sistema/componente
(es. potenza, velocità, ecc.)

Quantità dei prodotti
- Learning curve -



Modelli parametrici

- CERs Cost Estimating Relationships Process (from ISPA-Parametric Estimating Handbook)



CER Development Process

Sviluppo delle CERs

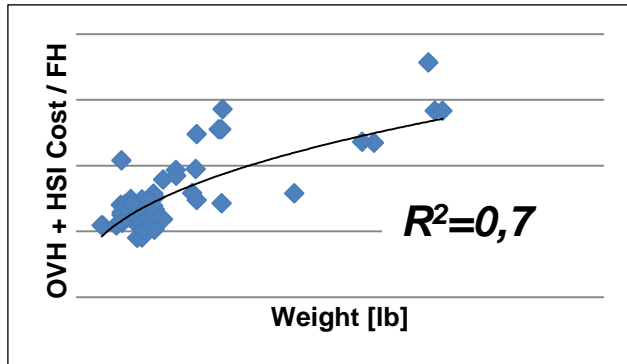
- Esempi rappresentativi: costi Turbofan e TCAS (Traffic Collision and Avoidance System)



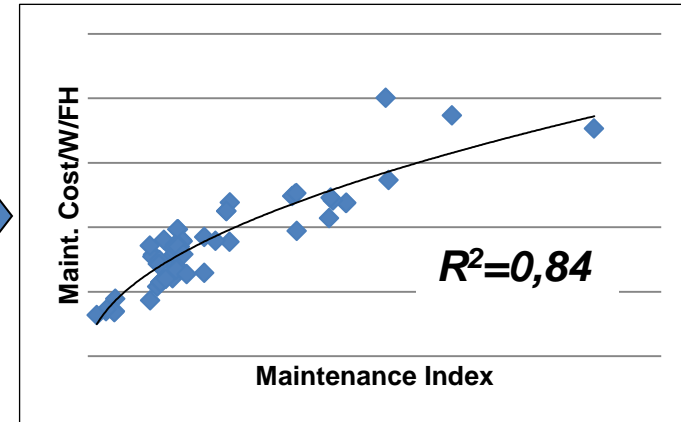
Cost Drivers
Turbofan:

- **Peso**
- **SFC** Specific Fuel Consumption, come coefficiente di sviluppo tecnologico
- **BPR** rapporto by pass
- **Architettura interna** (n. di stadi, tipo di compressore, tecnologia geared fan)

Nota: R^2 = Rapporto fra varianze punti reali e punti linea di trend.
Se è prossima a 1 la linea di trend è OK.



Maintenance
Index



$$\text{Maint.I.} = f(\text{SFC}, \text{BPR}, \text{eng architecture})$$

Costo manutenzione turbofan

FH= Flight Hours
Weight= Peso del Motore

$$\text{Maint. Cost/FH} = K_1 \cdot \text{weight}^{\alpha_1} \cdot \text{Maint.I.}^{\beta_1}$$

Sviluppo delle CERs

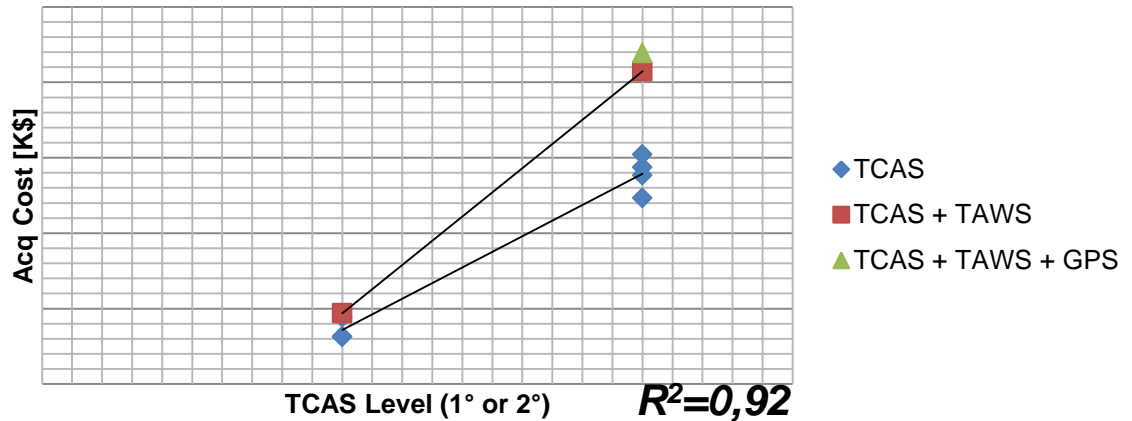
- Esempi rappresentativi: costi Turbofan e TCAS (Traffic Collision and Avoidance System)



Cost Drivers

TCAS:

- **TCAS** classe (I o II)
- **TAWS** presenza della funzione di allarme collisione con il suolo
- **GPS** presenza del GPS integrato



Nota: R²= Rapporto fra varianze punti reali e punti linea di trend. Se è prossima a 1 la linea di trend è OK.

Costo acquisizione TCAS

$$\text{Acq. Cost} = K_2 \cdot \text{TCAS class}^\alpha \cdot \text{TAWS}^\beta \cdot \text{GPS}^\gamma$$



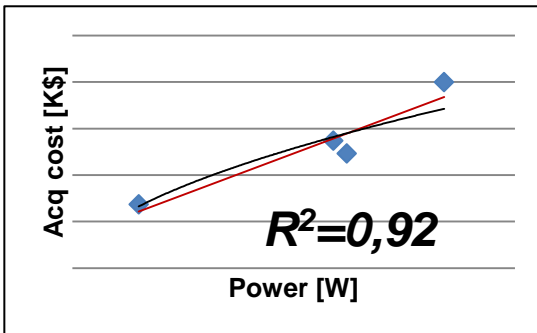
Sviluppo delle CERs

- *Esempi rappresentativi: costo di acquisizione sensori e componenti specifici per UAV*

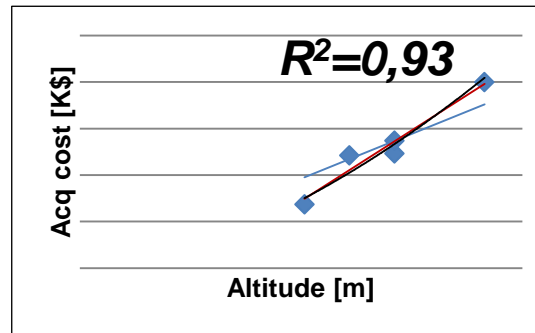
EO/IR (Electro-Optical InfraRed Sensor)

Cost Driver EO/IR:

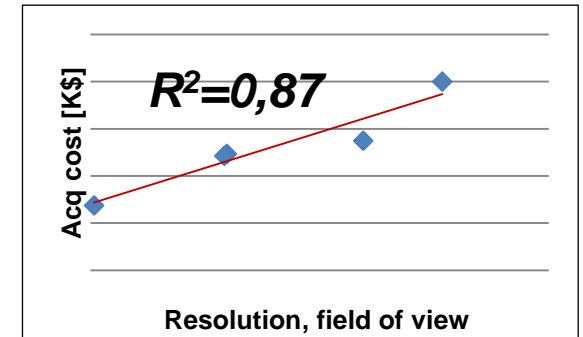
$Cost=f(power)$



$Cost=f(altitude)$

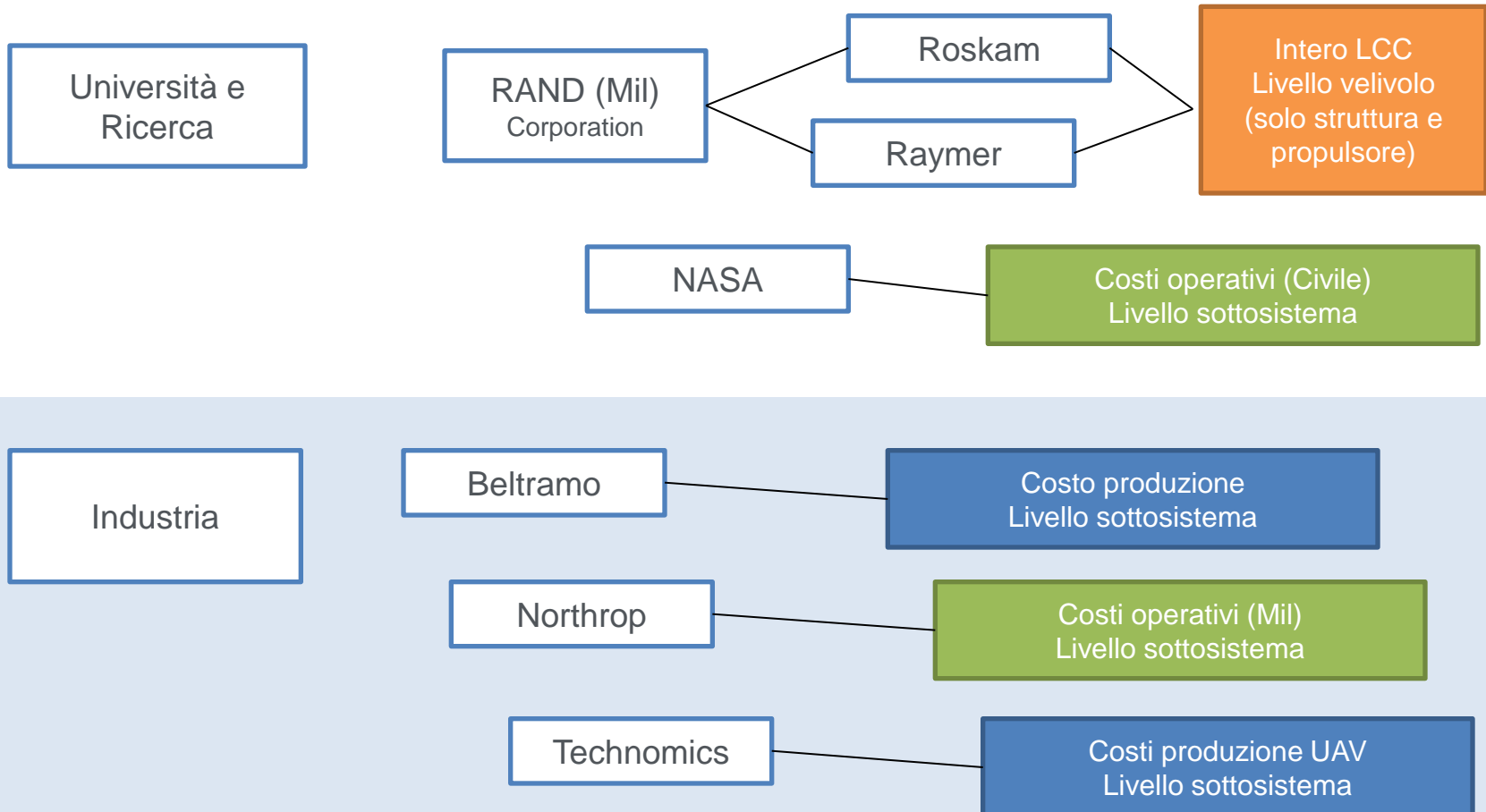


$Cost=f(resolution, field\ of\ view)$



$$Acq. Cost = K_1 \cdot A^\alpha \cdot P^\beta \cdot Res\ FoV^\gamma$$

Modelli parametrici esistenti



Modello Beltramo



Il modello di costo, sviluppato da M.N. Beltramo, (Science Applications Inc., SAI) nel 1978, è in grado di valutare, in fase di progettazione preliminare, il costo di produzione dei velivoli. Si basa su velivoli civili e database di elicotteri. E' in grado di calcolare il costo di struttura della cellula e, separatamente, il costo di ciascun sistema di bordo (Air Vehicle Systems) ed il costo dell' Avionica. L'unico inconveniente è la mancanza della CER necessaria a stimare il costo del motore che, con le altre, avrebbe reso completo il modello del costo di acquisizione.

CER's tipiche sono quelle presentate nella pagina seguente.

Modello Beltramo



Airframe structure	wing	$C_{wing} = 2290 \cdot W_{wing}^{0,766} \cdot N_{Pi}^{-0,218}$
	fuselage	$C_{fuselage} = 2730 \cdot W_{fuselage}^{0,766} \cdot N_{Pi}^{-0,218}$
	...	
General Systems	Electric system	$C_{electric} = 277 \cdot W_{electric} \cdot N_{Pi}^{-0,0896}$ for $W \leq 5000 \text{ lb}$ $C_{electric} = 236 \cdot W_{electric} \cdot N_{Pi}^{-0,0896}$ for $W > 5000 \text{ lb}$
	...	
	Avionics	$C_{avionics} = 2560 \cdot W_{avionics} \cdot N_{Pi}^{-0,184}$
Avionic System	Instrument	$C_{instrument} = 204 \cdot W_{instrument} \cdot N_{Pi}^{-0,184}$

In generale, le CER's che costituiscono il modello di costo del Beltramo sono presentate nella forma seguente:

$$C_i = A_i \cdot W_i^{B_i} \cdot N_p^{-K_i}$$

Dove C_i è il costo medio unitario del sottosistema, W_i è il peso del sottosistema e A_i , B_i e K_i sono coefficienti. N_p è il numero delle unità prodotte.

Il $N_p^{-K_i}$ è un coefficiente che tiene conto dell'effetto curva di apprendimento. L'influenza di questo coefficiente cambia tra i diversi sottosistemi.

NASA & NORTHROP per i costi di manutenzione



Stimare il costo di manutenzione significa, molto spesso, stimare la MMH / FH di ogni sottosistema impiegando diversi driver di manutenzione. In questo modo, essi sono in grado di calcolare con precisione il costo di manutenzione del sottosistema.

Esistono tra questi, due modelli, uno sviluppato da DV Maddalon, ricercatore della NASA (1978), per l'aviazione civile e l'altro creato da ricercatori Northrop per aerei militari (1975). Nelle pagine seguenti ci sono alcune CER relative a NASA e Northrop.

Le equazioni proposte dai ricercatori della Northrop hanno generalmente un componente correlata con un peso come il peso a vuoto velivolo, il peso massimo al decollo o un peso del sottosistema. Le ispezioni periodiche e speciali sono stimate utilizzando anche le prestazioni o il parametro dimensionale, come la spinta massima del motore o la densità della strumentazione avionica.

Le CER's della NASA sono state sviluppate correlando le ore di manutenzione alle caratteristiche di prestazione dei sottosistemi. Pertanto queste CER's possono essere utilizzate anche senza conoscere i pesi dei sottosistemi.



NASA & NORTHROP per i costi di manutenzione

MMH/FH	Northrop (military aircraft)	NASA (civil transport)
Hydraulic system	$-0,0124 + 2,31 \cdot 10^{-5} \cdot W_e$	$(3,86 + 0,0114 \cdot Fl_{hyd}) \cdot 1,59$
Oxygen system	$-0,0357 + 3,937 \cdot 10^{-6} \cdot A_{max} + 2,203 \cdot 10^{-6} \cdot W_e$	$(0,515 + 0,01017 \cdot N_{pa}) \cdot 1,59$
...		
Periodic inspection	$0,3266 + 1,8546 \cdot 10^{-3} \cdot W_{av} + 3,87 \cdot 10^{-2} \cdot D_y$	$(8,87 + 4,39 \cdot 10^{-4} \cdot W_a) \cdot 1,59$
Special inspection	$0,3444 + 1,0286 \cdot 10^{-4} \cdot n_e \cdot T_{MAX}$	
...		

Where A_{max} Maximum aircraft altitude, W_{av} is the avionics weight, D_y is the number of avionic equipment per unit volume and Fl_{hyd} is the maximum hydraulic flow.

Tenendo presente il contesto UAS, un ricercatore della Technomics, società statunitense di consulenza per Agenzie Governative (es. DoD) e per privati, ha proposto delle CER's specifiche nel 2004 che sono in grado di stimare il costo di acquisto di UAS.

UAV (Weight CER)	$12,55 \cdot W_{MTO}^{0,749} \cdot e^{-0,371(Prod\ 1\ 0)}$
UAV (Performan ce based CER)	$118,75 \cdot (FH_{mis} \cdot W_{pl})^{0,587} \cdot e^{-0,01(FY-1900)} \cdot e^{-0,921(Prod\ 1\ 0)}$
Payload	$290,18 \cdot 10^6 \cdot (Res_{sensors})^{-0,83} \cdot e^{1,829(Tracking\ 1\ 0)} \cdot e^{-0,169(FY-1900)}$
GCS	$433,4 \cdot (Range)^{0,507} \cdot e^{0,398(Mobile\ base\ 1\ 0)} \cdot e^{-3,48(Man\ Packable\ 1\ 0)}$

Where “Prod” is the learning curve factor, “Res_{sensors}” is the maximum sensors (SAR and EO/IR) resolution, “Tracking” considers the presence of turret EO/IR automatic tracking system, “Range” the maximum distance allowable between ground segment and UAV.

Modello Roskam basato sul RAND DAPCA IV



Esempi di CER's

Development

$$\text{Engineering Hours} = 20,032 \cdot W_a^{0,6636} \cdot V_{MAX}^{0,9871} \cdot 200^{-0,1764} \cdot N_p^{0,1764} \cdot 10^{-6}$$

The “engineering hours” CER, expressed in million of man-hours,
Where W_a is the airframe weight in pounds, V_{MAX} is the maximum aircraft speed at best altitude expressed in knots and N_p is the number of airframe produced.

Flight Test

$$FT \text{ Cost} = 153,25 \cdot W_a^{0,7095} \cdot V_{MAX}^{0,5856} \cdot N_{FT}^{0,7160} \cdot DV^{-1,5570} \cdot 10^{-6}$$

Where N_{FT} is the number of flight test aircraft and DV is a “dummy variable” that must be set to 2 for cargo and to 1 for the other aircraft classes.

Modello Roskam basato sul RAND DAPCA IV



The image displays two overlapping screenshots of the Roskam model spreadsheet in Microsoft Excel. The top window shows the RDT&E Cost calculation, and the bottom window shows the Aircraft Data and Other Data tables.

RDT&E Cost Calculation (Top Window):

- RDT&E Cost =** $C_{AED,R} + C_{DST,R} + C_{FTA,R} + C_{FTO,R} + C_{TSF,R} + C_{PRO,R} + C_{FIR,R}$ = **35,061 KUSD**
- RDT&E Cost (sub tot) =** $C_{AED,R} + C_{DST,R} + C_{FTA,R} + C_{FTO,R}$ = **21,037 KUSD**
- PROTOTYPE Cost =** **137,756 KUSD**

Aircraft Data (Bottom Window):

AIRCRAFT DATA							OTHER DATA				
W _{AIRP}	V _{MAX}	C _{E,R} (USD)	C _{M,R} (USD)	C _{AVIONICS} (USD)	Who	N _E	N _{ROTSE}	F _{DIFF}	F _{CD}	R _{E,R}	CEF(89)
903.64	125		0			1	2	1.2	0.8	65	3.19
N _p	# _{PROT}	T _{PROT}					F _{WAT}	R _{T,R}	N _{A,R}	F _{OS}	F _{TRF}
0	0						2	65	0.25	1	0.2
							CEF(08)	f _{CC,R}			
							1.80	0.13			
W _{F,USED}							N _M	R _{E,M}	F _{INT}	N _{PAK}	R _{U,M}
18500							236	75	0	0	40
							t _{INT}	F _{TOW}	f _{CC,M}	F _{IN,M}	F _{PRO,M}
							20	4	0.13	0.2	0.1
							F _{CL}	F _P	F _D	U _{ANN,FLT}	t _{HS}
							1.0050	2.36	6.55	350	2.7
							N _{CREW}	R _{CR}	PAY _{CREW}	O _{HRCREW}	L _e
							1	1.1	65000	3	0.3
							M _{HR,ELTHR}	R _{U,ML}	f _{BERS,IND}	f _{SPARES}	f _{CEPOT}
							18	45	0.2	0.15	0.05

INPUT dal metodo estratto dal GSS

INPUT dal metodo prod del Beltr



Grazie per l'attenzione!