

Motori a combustione interna

Appunti del corso di
Impiego industriale dell'energia

Potenza nominale ed efficiente degli impianti termoelettrici in Italia al 31 dicembre 2010

| Sezioni | Produttori | | | | |
|---|------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| | Potenza nominale | | Potenza efficiente | | |
| | n. | Motori primi MW | Generatori MVA | Lorda MW | Netta MW |
| A) Impianti con sola produzione di energia elettrica | | | | | |
| combustione interna (CI) | 774 | 784,4 | 974,1 | 767,5 | 739,7 |
| -fino a 25 | 774 | 784,4 | 974,1 | 767,5 | 739,7 |
| turbine a gas (TG) | 46 | 2.488,9 | 3.028,1 | 2.479,8 | 2.458,3 |
| -fino a 25 | 17 | 142,7 | 162,6 | 134,6 | 133,2 |
| -oltre 25 fino a 50 | 6 | 186,0 | 246,1 | 185,0 | 180,0 |
| -oltre 50 fino a 100 | 19 | 1.666,6 | 2.059,4 | 1.666,6 | 1.655,2 |
| -oltre 100 fino a 200 | 4 | 493,6 | 560,0 | 493,6 | 490,0 |
| a vapore a condensazione (C) | 134 | 21.714,6 | 25.225,2 | 21.595,5 | 19.709,7 |
| -fino a 25 | 54 | 468,3 | 564,1 | 446,7 | 395,0 |
| -oltre 25 fino a 50 | 5 | 193,8 | 285,5 | 193,8 | 174,8 |
| -oltre 50 fino a 100 | 14 | 985,5 | 1.228,2 | 985,5 | 913,1 |
| -oltre 100 fino a 200 | 21 | 3.327,0 | 3.907,5 | 3.314,5 | 3.070,8 |
| -oltre 200 fino a 500 | 28 | 8.880,0 | 10.250,0 | 8.795,0 | 8.102,2 |
| -oltre 500 | 12 | 7.860,0 | 8.990,0 | 7.860,0 | 7.053,8 |
| ciclo combinato (CC) | 53 | 23.589,8 | 30.654,2 | 23.049,2 | 22.604,9 |
| -fino a 25 | 4 | 48,7 | 60,9 | 46,0 | 44,5 |
| -oltre 50 fino a 100 | 2 | 120,0 | 157,9 | 120,0 | 117,0 |
| -oltre 100 fino a 200 | 1 | 115,5 | 144,6 | 115,5 | 113,0 |
| -oltre 200 fino a 500 | 33 | 12.779,4 | 17.657,1 | 12.437,2 | 12.213,6 |
| -oltre 500 | 13 | 10.526,2 | 12.633,8 | 10.330,5 | 10.116,9 |
| turbo espansione (TE) | 12 | 37,4 | 42,6 | 34,8 | 33,2 |
| -fino a 25 | 12 | 37,4 | 42,6 | 34,8 | 33,2 |
| ripotenziato (RP) | 8 | 5.317,6 | 6.160,0 | 5.317,6 | 5.068,4 |
| -oltre 200 fino a 500 | 4 | 1.737,6 | 2.040,0 | 1.737,6 | 1.594,4 |
| -oltre 500 | 4 | 3.580,0 | 4.120,0 | 3.580,0 | 3.474,0 |
| altro genere (V) | 7 | 167,3 | 204,4 | 165,7 | 158,7 |
| -fino a 25 | 5 | 53,3 | 64,3 | 51,7 | 50,4 |
| -oltre 25 fino a 50 | 1 | 42,0 | 50,0 | 42,0 | 39,9 |
| -oltre 50 fino a 100 | 1 | 72,0 | 90,0 | 72,0 | 68,4 |
| Totale A | 1.034 | 54.100,1 | 66.288,5 | 53.410,0 | 50.772,9 |

Autoproduttori

| Sezioni | Potenza nominale | | Potenza efficiente | |
|---------|------------------|------------|--------------------|-------|
| | Motori primi | Generatori | Lorda | Netta |
| | n. | MW | MVA | MW |
| 77 | 127,5 | 155,6 | 123,3 | 119,1 |
| 77 | 127,5 | 155,6 | 123,3 | 119,1 |
| 5 | 36,8 | 42,8 | 36,8 | 36,1 |
| 5 | 36,8 | 42,8 | 36,8 | 36,1 |
| - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - |
| 14 | 211,4 | 276,7 | 207,1 | 195,4 |
| 9 | 54,9 | 68,7 | 50,6 | 47,5 |
| 5 | 156,5 | 208,0 | 156,5 | 147,9 |
| - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - |
| 1 | 58,0 | 73,3 | 58,0 | 55,3 |
| - | - | - | - | - |
| 1 | 58,0 | 73,3 | 58,0 | 55,3 |
| - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - |
| 13 | 124,2 | 162,0 | 116,1 | 113,0 |
| 13 | 124,2 | 162,0 | 116,1 | 113,0 |
| - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - |
| 2 | 14,0 | 18,4 | 13,6 | 12,9 |
| 2 | 14,0 | 18,4 | 13,6 | 12,9 |
| - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - |
| 112 | 572,0 | 728,8 | 554,9 | 531,8 |

ITALIA

| Sezioni | Potenza nominale | | Potenza efficiente | |
|---------|------------------|------------|--------------------|----------|
| | Motori primi | Generatori | Lorda | Netta |
| | n. | MW | MVA | MW |
| 851 | 911,9 | 1.129,7 | 890,8 | 858,7 |
| 851 | 911,9 | 1.129,7 | 890,8 | 858,7 |
| 51 | 2.525,7 | 3.070,8 | 2.516,6 | 2.494,4 |
| 22 | 179,5 | 205,3 | 171,4 | 169,3 |
| 6 | 186,0 | 246,1 | 185,0 | 180,0 |
| 19 | 1.666,6 | 2.059,4 | 1.666,6 | 1.655,2 |
| 4 | 493,6 | 560,0 | 493,6 | 490,0 |
| 148 | 21.926,1 | 25.502,0 | 21.802,6 | 19.905,2 |
| 63 | 523,3 | 632,8 | 497,3 | 442,5 |
| 10 | 350,3 | 493,5 | 350,3 | 322,7 |
| 14 | 985,5 | 1.228,2 | 985,5 | 913,1 |
| 21 | 3.327,0 | 3.907,5 | 3.314,5 | 3.070,8 |
| 28 | 8.880,0 | 10.250,0 | 8.795,0 | 8.102,2 |
| 12 | 7.860,0 | 8.990,0 | 7.860,0 | 7.053,8 |
| 54 | 23.647,8 | 30.727,5 | 23.107,2 | 22.660,3 |
| 4 | 48,7 | 60,9 | 46,0 | 44,5 |
| 3 | 178,0 | 231,2 | 178,0 | 172,3 |
| 1 | 115,5 | 144,6 | 115,5 | 113,0 |
| 33 | 12.779,4 | 17.657,1 | 12.437,2 | 12.213,6 |
| 13 | 10.526,2 | 12.633,8 | 10.330,5 | 10.116,9 |
| 25 | 161,6 | 204,6 | 150,9 | 146,2 |
| 25 | 161,6 | 204,6 | 150,9 | 146,2 |
| 8 | 5.317,6 | 6.160,0 | 5.317,6 | 5.068,4 |
| 4 | 1.737,6 | 2.040,0 | 1.737,6 | 1.594,4 |
| 4 | 3.580,0 | 4.120,0 | 3.580,0 | 3.474,0 |
| 9 | 181,3 | 222,8 | 179,3 | 171,6 |
| 7 | 67,3 | 82,8 | 65,3 | 63,3 |
| 1 | 42,0 | 50,0 | 42,0 | 39,9 |
| 1 | 72,0 | 90,0 | 72,0 | 68,4 |
| 1.146 | 54.672,1 | 67.017,4 | 53.965,0 | 51.304,8 |

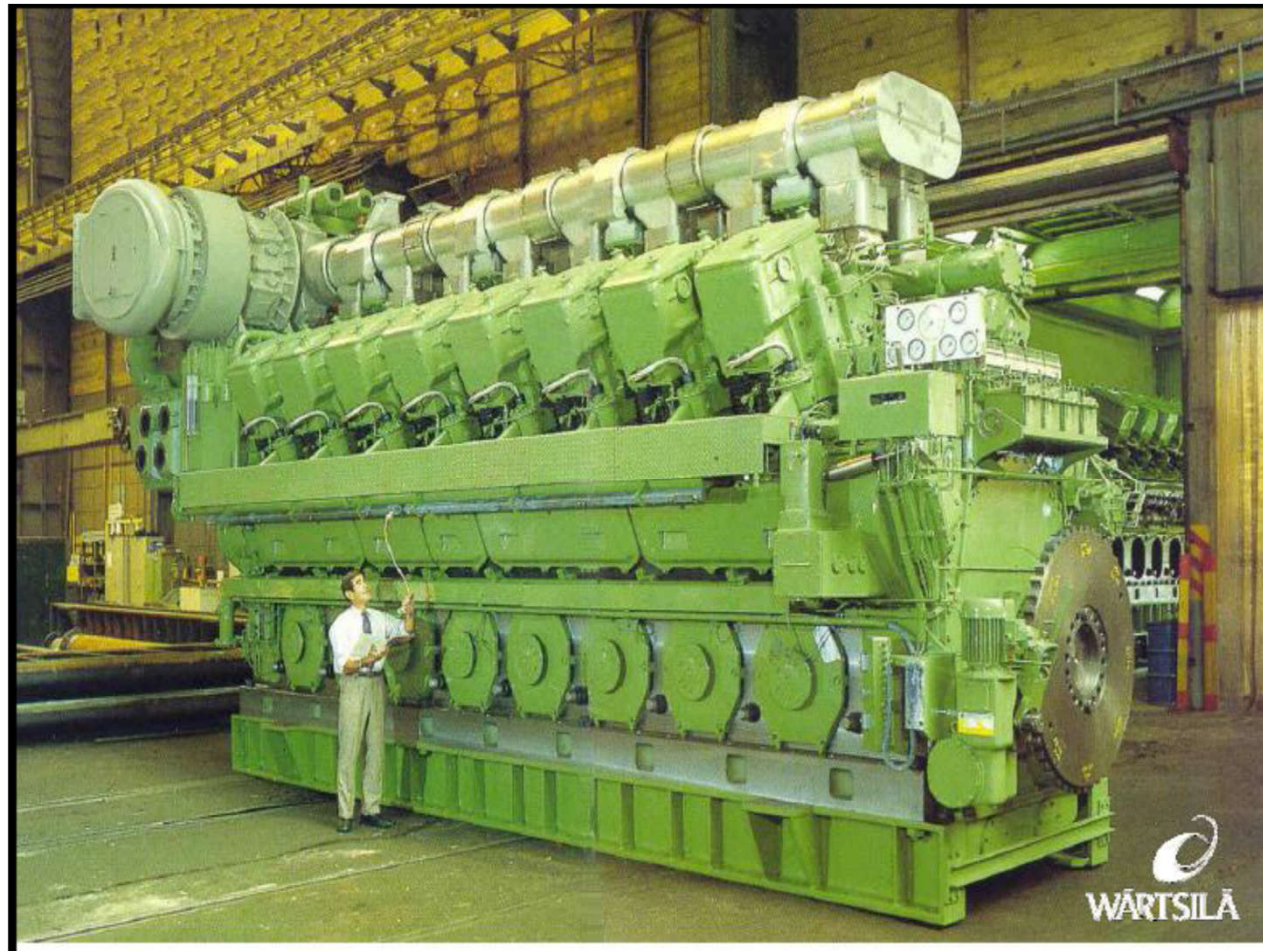
| | n. | Motori primi MW | Generatori MVA | Lorda MW | Netta MW |
|---|--------------|--------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| B) Impianti con produzione combinata di energia elettrica e calore | | | | | |
| a combustione interna (CIC) | 516 | 898,4 | 1.098,5 | 872,3 | 834,6 |
| -fino a 25 | 515 | 859,4 | 1.050,8 | 834,3 | 798,6 |
| -oltre 25 fino a 50 | 1 | 39,0 | 47,7 | 38,0 | 36,0 |
| a turbine a gas (TGC) | 29 | 239,2 | 294,3 | 237,4 | 233,8 |
| -fino a 25 | 27 | 82,2 | 104,3 | 80,4 | 79,0 |
| -oltre 25 fino a 50 | 1 | 30,0 | 37,5 | 30,0 | 29,9 |
| -oltre 100 fino a 200 | 1 | 127,0 | 152,5 | 127,0 | 125,0 |
| a ciclo combinato (CCC) | 107 | 16.772,4 | 20.137,4 | 16.537,5 | 16.154,2 |
| -fino a 25 | 29 | 218,9 | 267,6 | 213,5 | 204,5 |
| -oltre 25 fino a 50 | 17 | 850,4 | 1.055,5 | 792,0 | 768,5 |
| -oltre 50 fino a 100 | 12 | 831,1 | 1.073,7 | 801,0 | 773,9 |
| -oltre 100 fino a 200 | 24 | 3.927,5 | 4.549,7 | 3.824,6 | 3.734,3 |
| -oltre 200 fino a 500 | 21 | 7.948,7 | 9.541,8 | 7.913,9 | 7.735,0 |
| -oltre 500 | 4 | 2.995,8 | 3.649,0 | 2.992,5 | 2.938,0 |
| a vapore a contropressione (CPC) | 30 | 366,4 | 449,0 | 361,2 | 341,1 |
| -fino a 25 | 26 | 101,7 | 122,0 | 99,9 | 94,9 |
| -oltre 25 fino a 50 | - | - | - | - | - |
| -oltre 50 fino a 100 | 4 | 264,7 | 327,0 | 261,3 | 246,2 |
| condensazione e spillamento (CSC) | 49 | 724,1 | 893,6 | 700,5 | 652,6 |
| -fino a 25 | 42 | 407,3 | 515,0 | 388,0 | 358,7 |
| -oltre 25 fino a 50 | 4 | 132,8 | 166,6 | 128,5 | 121,8 |
| -oltre 50 fino a 100 | 3 | 184,0 | 212,0 | 184,0 | 172,1 |
| Totale B | 731 | 19.000,4 | 22.872,8 | 18.708,8 | 18.216,3 |
| Totale impianti (A + B) | 1.765 | 73.100,5 | 89.161,4 | 72.118,8 | 68.989,3 |
| geotermoelettrici | 34 | 882,5 | 1.037,0 | 772,0 | 728,1 |
| in complesso | 1.799 | 73.983,0 | 90.198,4 | 72.890,8 | 69.717,4 |

| Autoproduttori | | | | |
|----------------|------------------|------------|--------------------|---------|
| Sezioni | Potenza nominale | | Potenza efficiente | |
| | Motori primi | Generatori | Lorda | Netta |
| n. | MW | MVA | MW | MW |
| 315 | 556,7 | 688,1 | 547,9 | 533,4 |
| 314 | 525,0 | 649,6 | 516,2 | 502,7 |
| 1 | 31,8 | 38,4 | 31,8 | 30,8 |
| 111 | 686,6 | 851,3 | 654,5 | 641,1 |
| 108 | 575,5 | 710,6 | 547,0 | 537,7 |
| 3 | 111,1 | 140,7 | 107,5 | 103,5 |
| - | - | - | - | - |
| 55 | 2.429,9 | 2.931,3 | 2.391,2 | 2.334,4 |
| 37 | 379,3 | 478,9 | 364,1 | 354,1 |
| 9 | 367,6 | 463,5 | 349,2 | 340,9 |
| 3 | 202,1 | 261,3 | 197,0 | 193,8 |
| 2 | 265,7 | 326,2 | 265,7 | 246,4 |
| 4 | 1.215,2 | 1.401,4 | 1.215,2 | 1.199,2 |
| - | - | - | - | - |
| 128 | 960,4 | 1.210,0 | 940,3 | 892,0 |
| 123 | 684,5 | 866,2 | 667,5 | 635,9 |
| 3 | 128,9 | 156,3 | 125,8 | 118,7 |
| 2 | 147,0 | 187,5 | 147,0 | 137,4 |
| 51 | 1.170,8 | 1.453,5 | 1.132,8 | 1.054,2 |
| 35 | 278,8 | 348,3 | 267,2 | 251,9 |
| 7 | 272,0 | 314,0 | 245,6 | 221,6 |
| 9 | 620,0 | 791,2 | 620,0 | 580,6 |
| 660 | 5.804,5 | 7.134,2 | 5.666,8 | 5.455,1 |
| 772 | 6.376,5 | 7.863,0 | 6.221,7 | 5.986,9 |
| - | - | - | - | - |
| 772 | 6.376,5 | 7.863,0 | 6.221,7 | 5.986,9 |

| ITALIA | | | | |
|---------|------------------|------------|--------------------|----------|
| Sezioni | Potenza nominale | | Potenza efficiente | |
| | Motori primi | Generatori | Lorda | Netta |
| n. | MW | MVA | MW | MW |
| 831 | 1.455,1 | 1.786,6 | 1.420,2 | 1.368,0 |
| 829 | 1.384,3 | 1.700,5 | 1.350,5 | 1.301,3 |
| 2 | 70,8 | 86,1 | 69,8 | 66,8 |
| 140 | 925,8 | 1.145,6 | 891,9 | 875,0 |
| 135 | 657,7 | 814,9 | 627,4 | 616,6 |
| 4 | 141,1 | 178,2 | 137,5 | 133,3 |
| 1 | 127,0 | 152,5 | 127,0 | 125,0 |
| 162 | 19.202,3 | 23.068,7 | 18.928,7 | 18.488,5 |
| 66 | 598,2 | 746,6 | 577,6 | 558,6 |
| 26 | 1.218,0 | 1.518,9 | 1.141,2 | 1.109,4 |
| 15 | 1.033,2 | 1.335,0 | 998,0 | 967,6 |
| 26 | 4.193,2 | 4.875,9 | 4.090,3 | 3.980,7 |
| 25 | 9.163,9 | 10.943,2 | 9.129,1 | 8.934,2 |
| 4 | 2.995,8 | 3.649,0 | 2.992,5 | 2.938,0 |
| 158 | 1.326,8 | 1.659,0 | 1.301,4 | 1.233,2 |
| 149 | 786,2 | 988,2 | 767,4 | 730,8 |
| 3 | 128,9 | 156,3 | 125,8 | 118,7 |
| 6 | 411,7 | 514,5 | 408,3 | 383,6 |
| 100 | 1.894,9 | 2.347,1 | 1.833,3 | 1.706,8 |
| 77 | 686,1 | 863,3 | 655,2 | 610,6 |
| 11 | 404,8 | 480,6 | 374,1 | 343,5 |
| 12 | 804,0 | 1.003,2 | 804,0 | 752,7 |
| 1.391 | 24.804,9 | 30.007,0 | 24.375,5 | 23.671,5 |
| 2.537 | 79.476,9 | 97.024,4 | 78.340,5 | 74.976,2 |
| 34 | 882,5 | 1.037,0 | 772,0 | 728,1 |
| 2.571 | 80.359,4 | 98.061,4 | 79.112,5 | 75.704,3 |

| | Impianti | Potenza efficiente lorda | Impianti | Potenza efficiente lorda | Potenza efficiente lorda |
|--|---------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | n. | kW | n. | kW | % |
| | 2009 | | 2010 | | 2010/2009 |
| Idrica | 2.249 | 17.721.465 | 2.729 | 17.876.169 | 0,9% |
| 0 - 1 MW | 1.270 | 465.561 | 1.727 | 523.491 | 12,4% |
| 1 - 10 MW | 682 | 2.189.647 | 700 | 2.210.451 | 1,0% |
| > 10 MW | 297 | 15.066.257 | 302 | 15.142.227 | 0,5% |
| Eolica | 294 | 4.897.938 | 487 | 5.814.281 | 18,7% |
| Fotovoltaica (1) | 71.256 | 1.142.211 | 155.977 | 3.469.880 | 203,8% |
| Geotermica | 32 | 737.000 | 33 | 772.000 | 4,7% |
| Bioenergie (2) | 419 | 2.018.554 | 669 | 2.351.545 | 16,5% |
| Sola produzione di energia elettrica | 292 | 1.249.436 | 484 | 1.426.830 | 14,2% |
| Solidi | 66 | 706.098 | 82 | 677.845 | -4,0% |
| - rifiuti solidi urbani | 41 | 406.941 | 45 | 437.900 | 7,6% |
| - biomasse solide | 27 | 299.157 | 39 | 239.945 | -19,8% |
| Biogas | 207 | 279.908 | 352 | 342.074 | 22,2% |
| - da rifiuti | 178 | 255.633 | 210 | 283.472 | 10,9% |
| - da fanghi | 4 | 1.162 | 31 | 4.338 | 273,3% |
| - da deiezioni animali | 12 | 7.830 | 76 | 21.661 | 176,6% |
| - da attività agricole e forestali | 14 | 15.283 | 38 | 32.603 | 113,3% |
| Bioliquidi | 22 | 263.430 | 52 | 406.911 | 54,5% |
| - oli vegetali grezzi | 17 | 192.600 | 43 | 327.339 | 70,0% |
| - altri bioliquidi | 5 | 70.830 | 9 | 79.572 | 12,3% |
| Produzione combinata di energia elettrica e calore | 134 | 769.118 | 191 | 924.715 | 20,2% |
| Solidi | 53 | 549.308 | 56 | 564.814 | 2,8% |
| - rifiuti solidi urbani | 28 | 375.023 | 25 | 360.029 | -4,0% |
| - biomasse solide | 26 | 174.285 | 32 | 204.785 | 17,5% |
| Biogas | 65 | 98.273 | 96 | 165.630 | 68,5% |
| - da rifiuti | 16 | 43.621 | 18 | 57.866 | 32,7% |
| - da fanghi | 16 | 8.760 | 16 | 10.231 | 16,8% |
| - da deiezioni animali | 16 | 9.340 | 19 | 19.710 | 111,0% |
| - da attività agricole e forestali | 17 | 36.552 | 43 | 77.823 | 112,9% |
| Bioliquidi | 20 | 121.537 | 45 | 194.271 | 59,8% |
| - oli vegetali grezzi | 18 | 109.943 | 43 | 182.677 | 66,2% |
| - altri bioliquidi | 2 | 11.594 | 2 | 11.594 | 0,0% |
| Totale | 74.250 | 26.517.168 | 159.895 | 30.283.875 | 14,2% |

MOTORI A COMBUSTIONE INTERNA

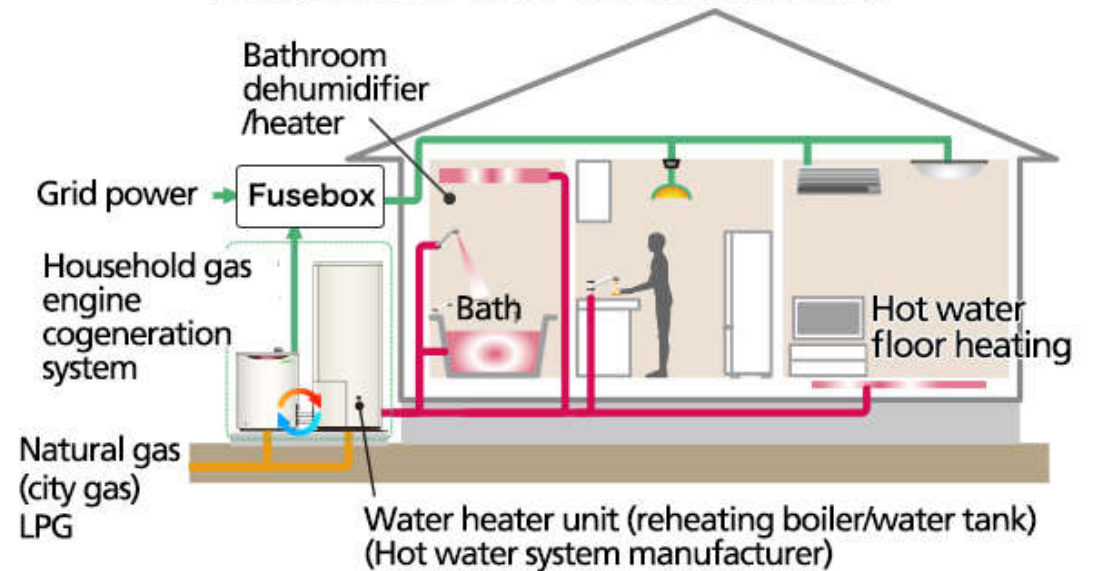


BOZZA

Esempi di impianti cogenerativi

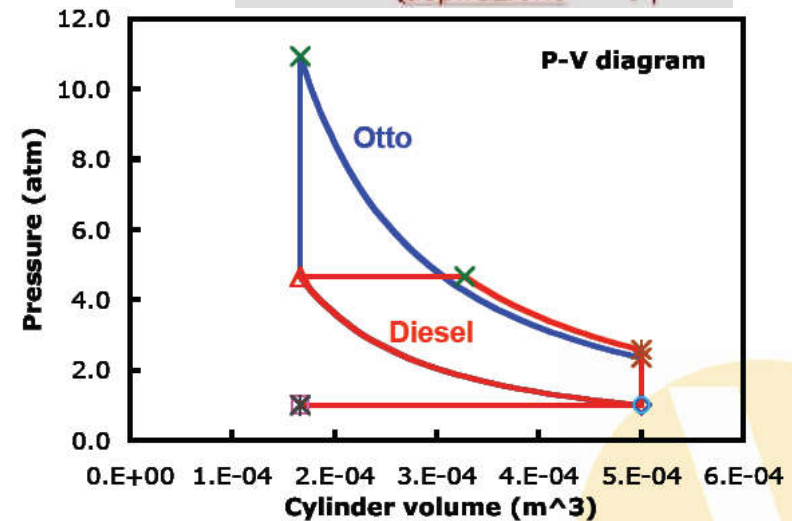
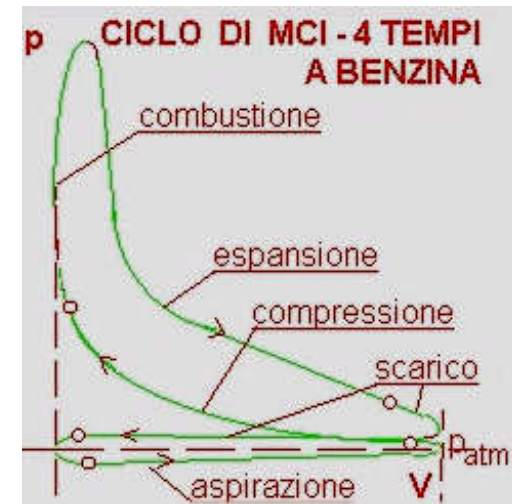
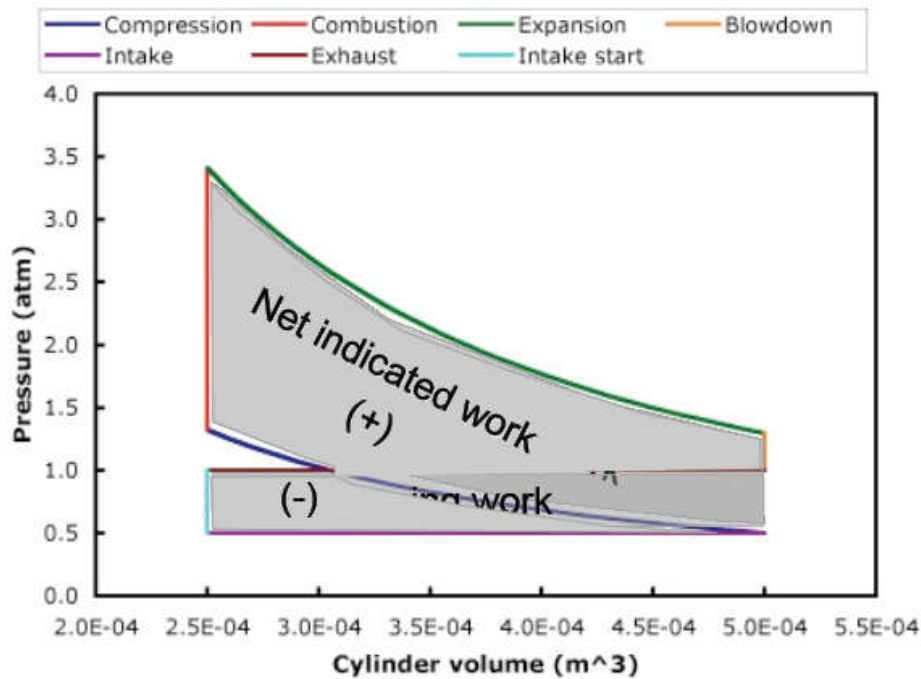


Installed outdoors.
Heat is used for water and indoor heating.



[fonte: Honda
<https://global.honda/innovation/technology/power/cogeneration-picturebook.html>]

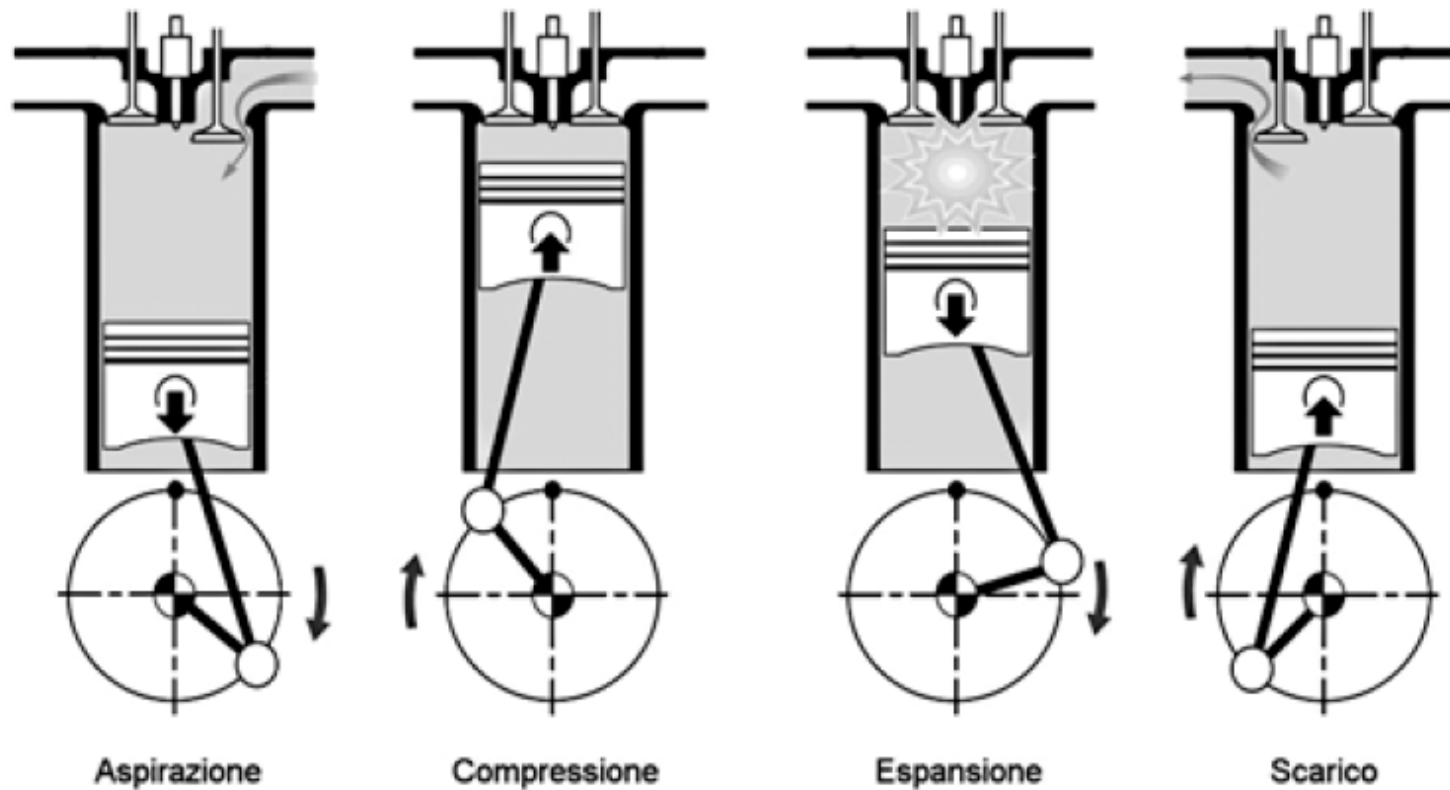
Ciclo di riferimento



[P. Ronney USC Viterbi]

- Unthrottled Otto & Diesel with **same compression ratio & heat input**: Otto has higher peak P & T, more work output

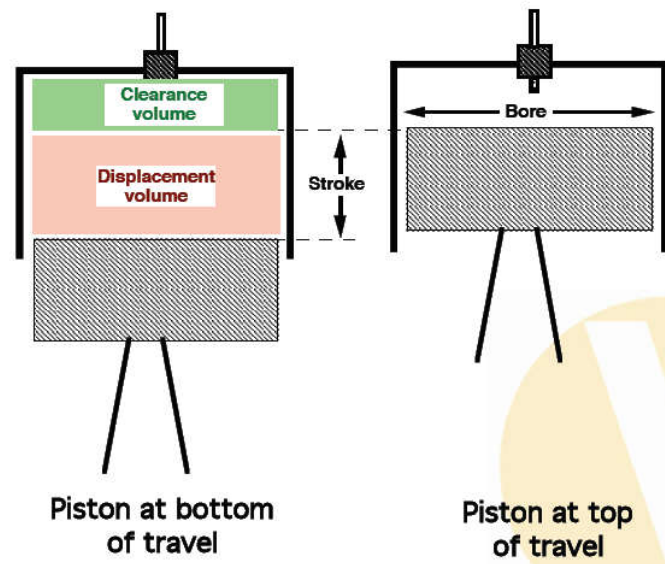
Fasi



Rapporto di compressione

$$r_c \equiv \frac{\text{maximum cylinder volume}}{\text{minimum cylinder volume}} = \frac{V_c + V_d}{V_c}$$

- Alesaggio: diametro del pistone
- Corsa: distanza fra PMI e PMS



Prestazioni

Rendimento termico

$$\eta_{th} \equiv \frac{\text{Power output (brake or indicated)}}{\dot{m}_{\text{fuel}} Q_R}$$

Brake specific fuel consumption

$$;bsfc \equiv \frac{\dot{m}_{\text{fuel}}}{\text{brake power}}$$

Pressione media effettiva

$$MEP \equiv \frac{\text{Work per cycle}}{\text{Displacement volume}}$$

Motori a combustione interna e definizioni di rendimento

Nello studio e nella caratterizzazione dei motori a combustione interna vengono usati numerosi rapporti per definire il rendimento dei processi e delle trasformazioni che avvengono nella macchina.

Quelli più frequentemente utilizzati sono:

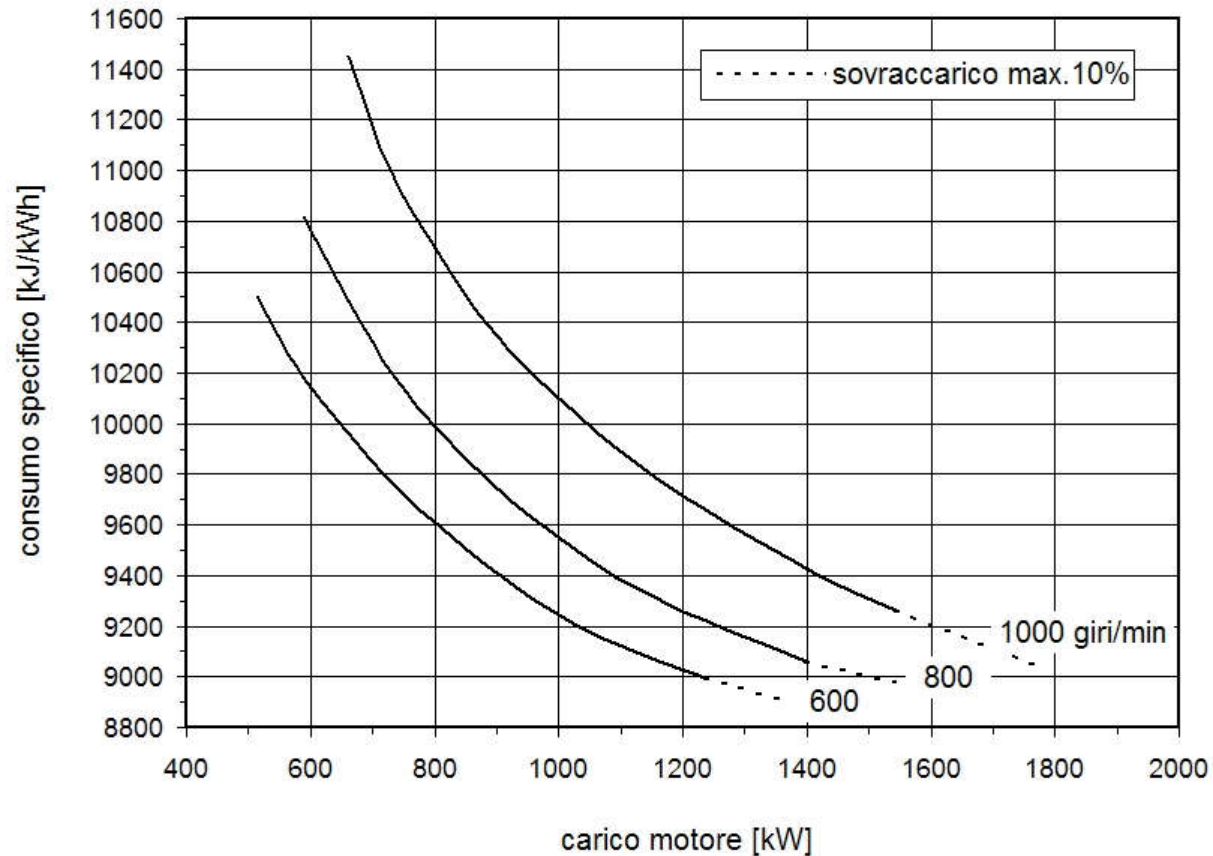
- rendimento termico ideale: esprime la qualità del ciclo ideale di funzionamento ed è uguale al rapporto tra il lavoro prodotto ed il calore fornito ;
- il rendimento indicato: rappresenta un indice dell'efficienza con cui il calore sviluppato dal combustibile, durante il ciclo reale di funzionamento, è convertito nel lavoro meccanico, fatto dalla pressione del gas sullo stantuffo;
- il rendimento meccanico (organico): tiene conto delle perdite di potenza per vincere l'attrito tra i principali accoppiamenti cinematici del motore e per trascinare tutti gli ausiliari indispensabili per il funzionamento;
- il rendimento effettivo (globale), nel testo talvolta indicato semplicemente come "rendimento" o "efficienza di conversione": misura l'efficienza con cui l'energia contenuta nel combustibile è convertita in lavoro meccanico disponibile all'albero. E' uguale al rapporto tra il lavoro disponibile all'albero e la quantità di calore fornito con il combustibile.

PME e consumo specifico

La **pressione media effettiva** – **pme** - è un parametro che esprime il lavoro meccanico effettivo per ciclo ed unità di cilindrata, quindi fornisce una misura dell'efficienza con cui il progettista è riuscito a sfruttare la cilindrata del motore per un dato regime di rotazione. Per una certa velocità, la pme varia in base alla potenza sviluppata dal motore; è per questo che il suo valore è spesso usato come indice per la definizione del carico del motore. Viene espressa in bar.

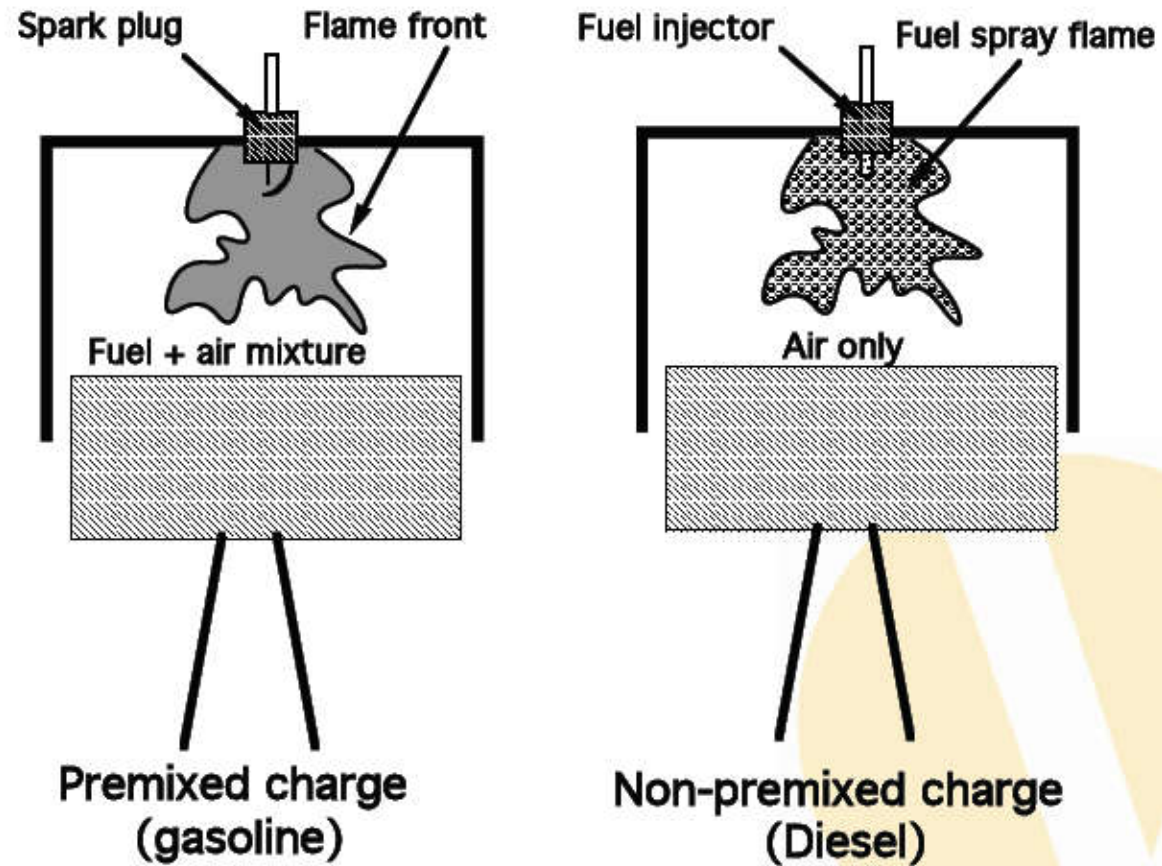
Il **consumo specifico di combustibile** rappresenta una grandezza molto significativa che definisce l'efficienza con la quale un motore utilizza il combustibile per produrre energia meccanica. Noto il potere calorifico del combustibile permette di calcolare il rendimento del motore. Normalmente si esprime in g/kWh.

Consumo specifico



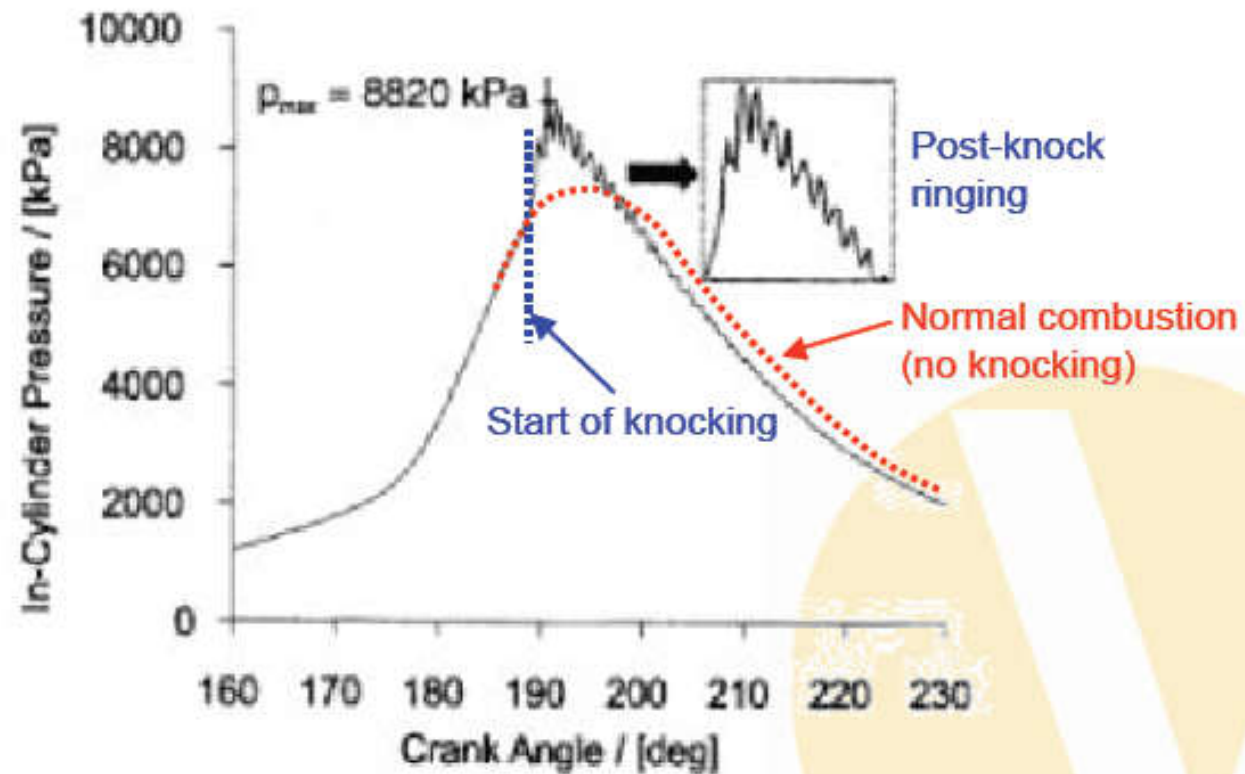
variazione del consumo specifico in funzione del carico e della velocità
motore stazionario ad accensione comandata alimentato a gas (Elaborato da Waukesha)

Combustione



P. Ronney USC Viterbi

Detonazione

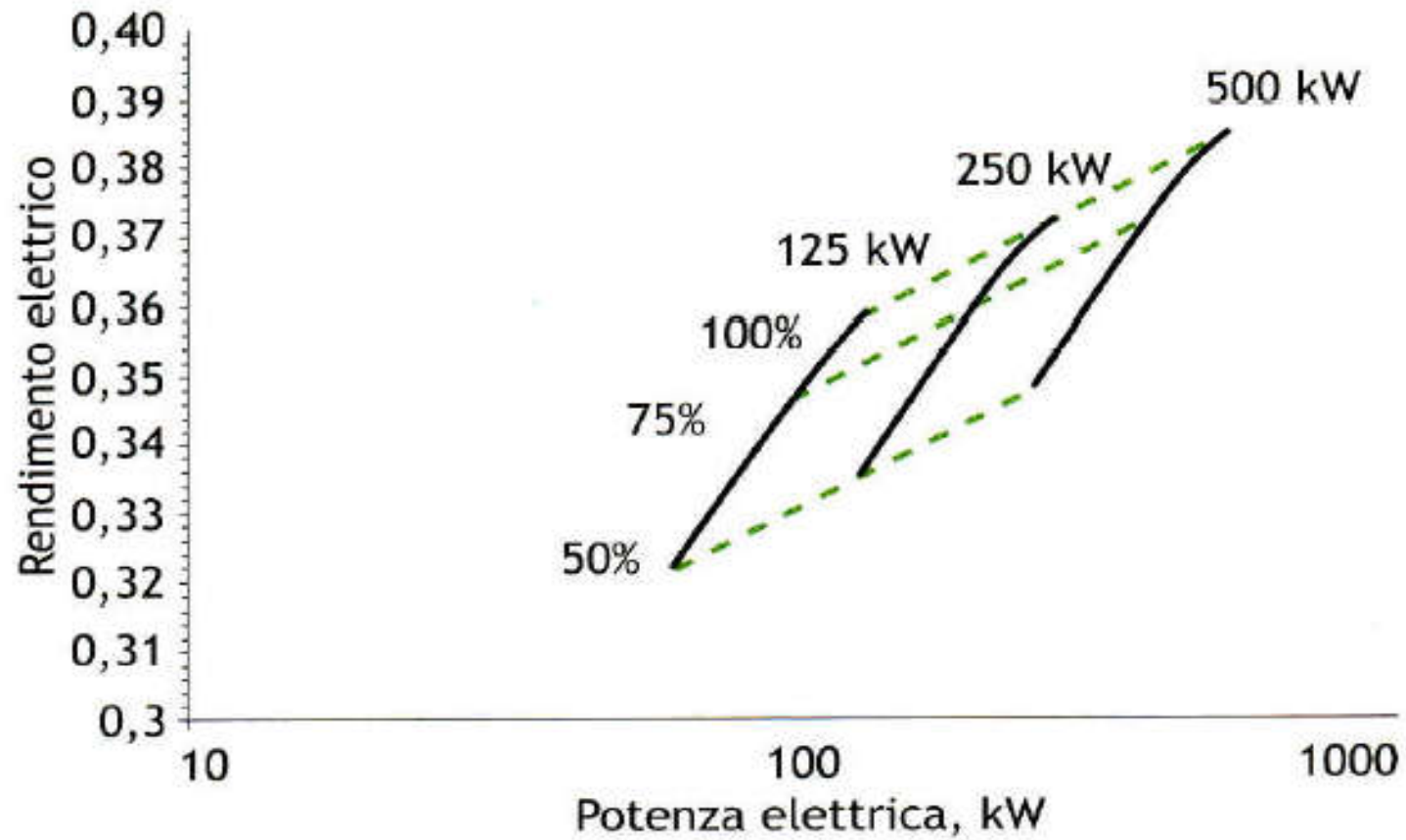


Töpfer et al., SAE Paper 2000-01-0252 (2000)

Differenze principali ciclo Diesel /ciclo Otto

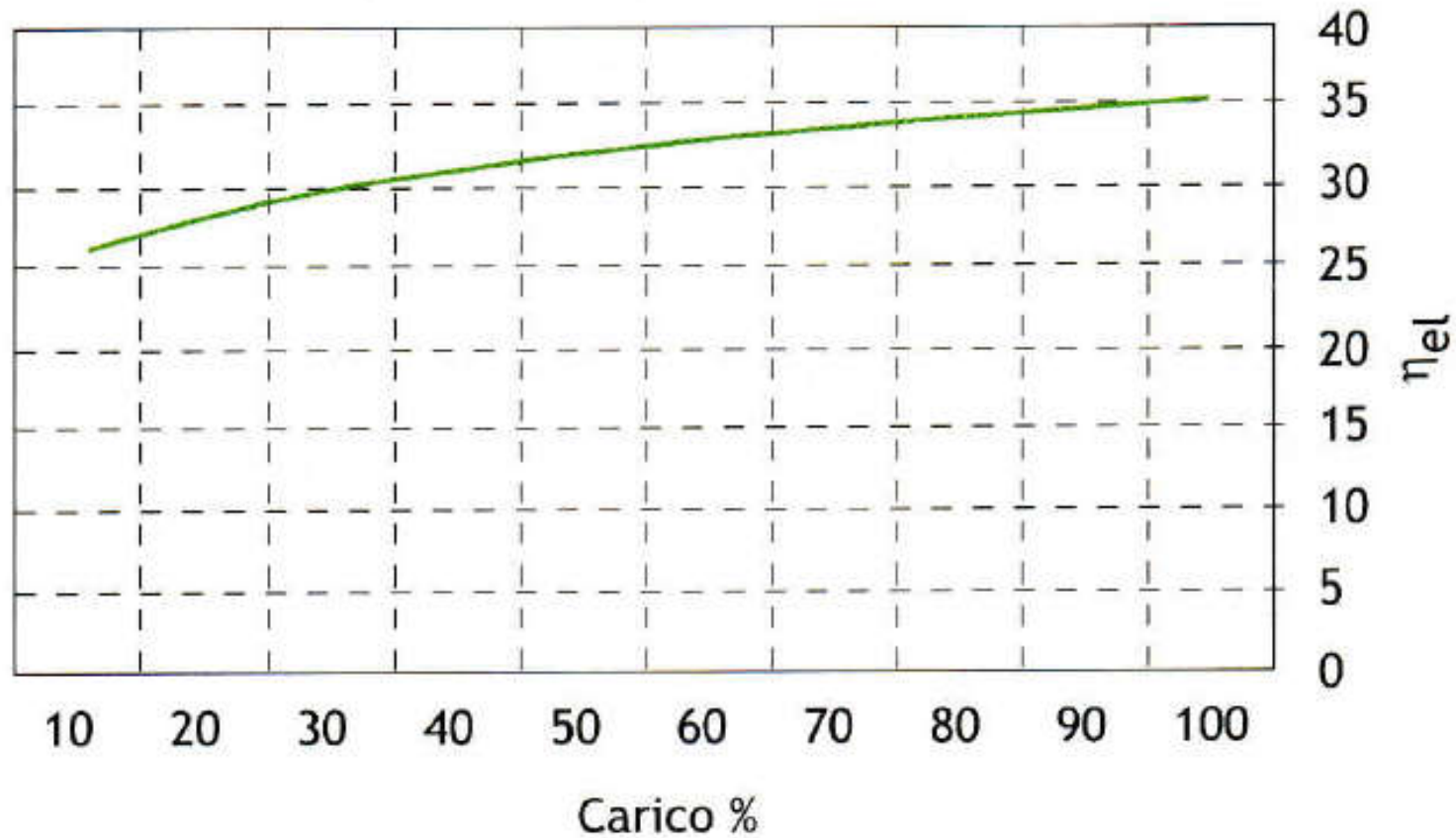
- Durante la fase di compressione viene compressa solo aria;
 - il combustibile viene iniettato nel cilindro alla fine della compressione e la combustione inizia spontaneamente a causa dell'elevata temperatura dell'aria; inoltre la combustione è più graduale e si può ipotizzare che avvenga a pressione costante;
 - il rapporto aria/combustibile è maggiore di quello stechiometrico nel funzionamento a piena potenza;
 - ai carichi parziali viene ridotta la quantità di combustibile a parità di aria aspirata nel cilindro: dunque il rapporto aria/combustibile cresce di molto. Nei MCI a ciclo Otto invece il rapporto aria combustibile rimane pressochè costante mentre viene variata la quantità di miscela elaborata nel cilindro agendo sulla valvola a farfalla che crea una perdita di carico nei condotti di aspirazione. Per questo motivo i motori Diesel hanno rendimenti ai carichi parziali migliori di quelli Otto.
-

Prestazioni ai carichi parziali



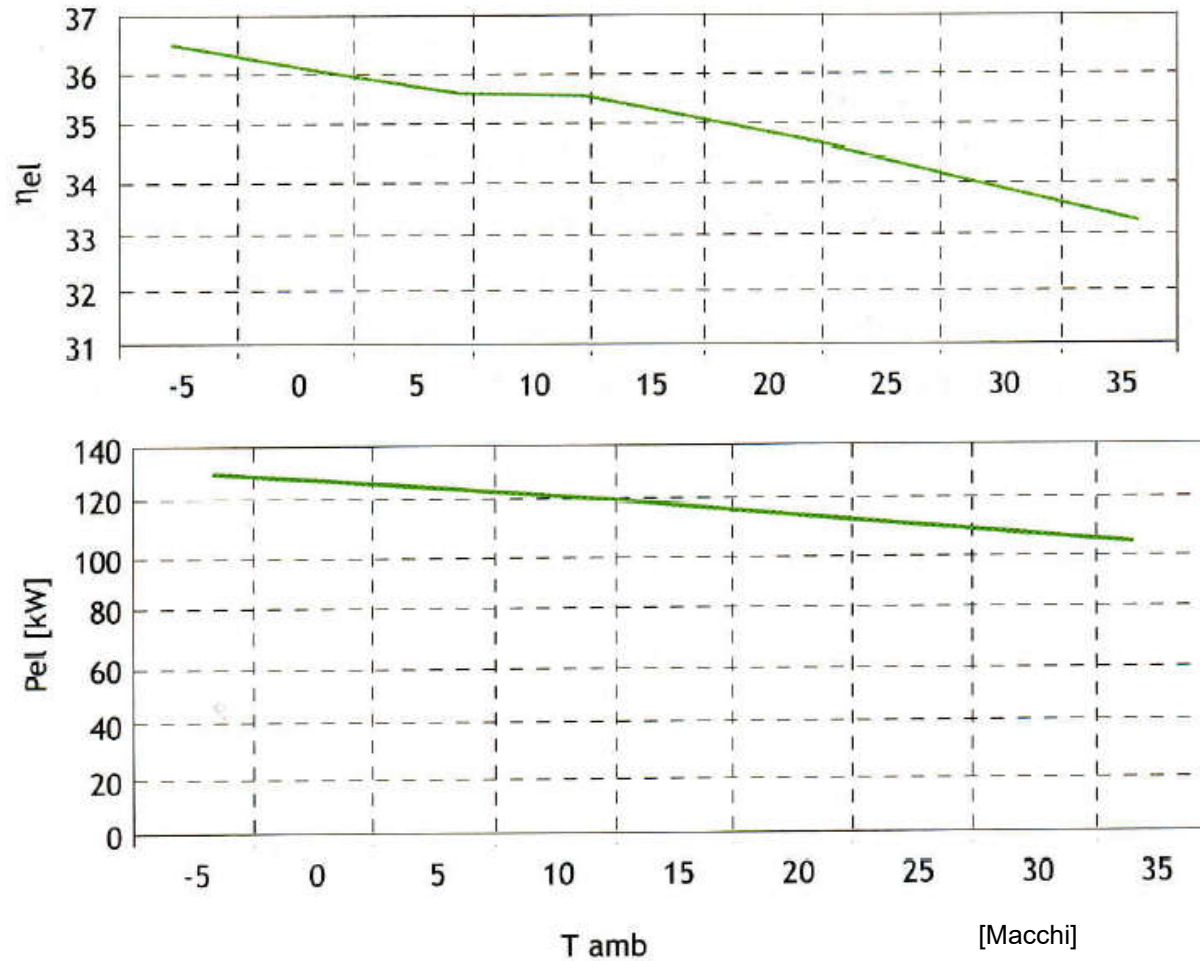
[Macchi]

Prestazioni ai carichi parziali

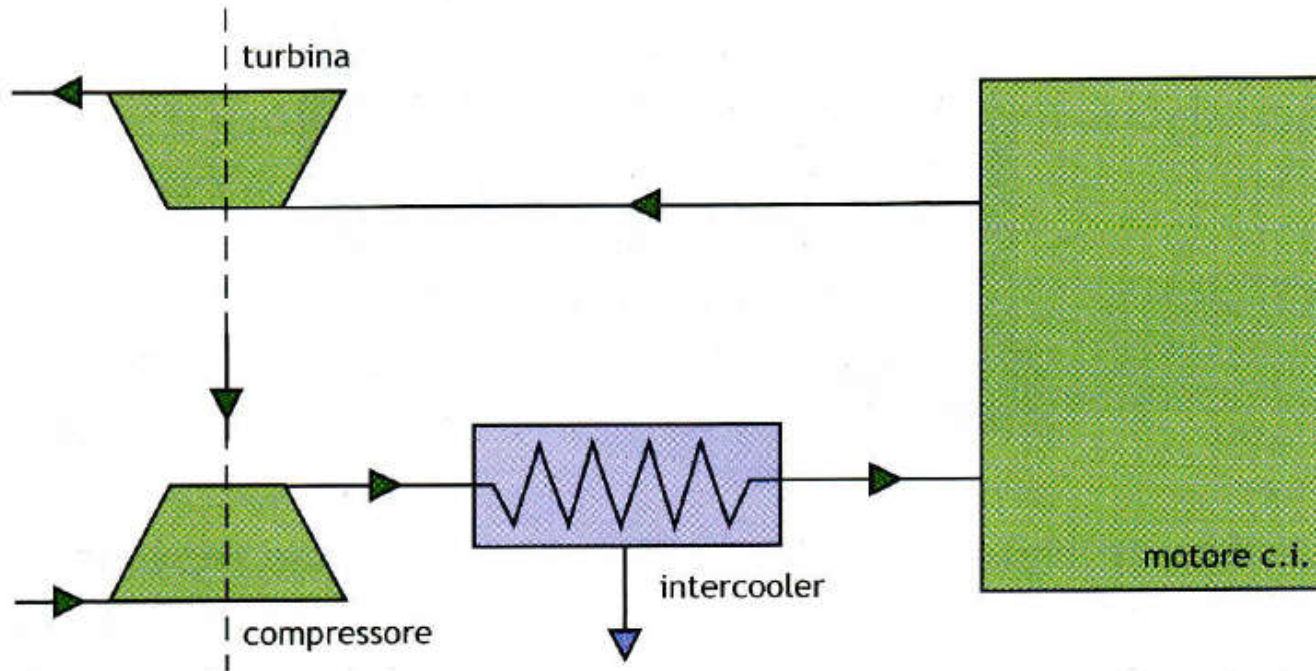


[Macchi]

Influenza delle condizioni ambientali: temperatura ambiente



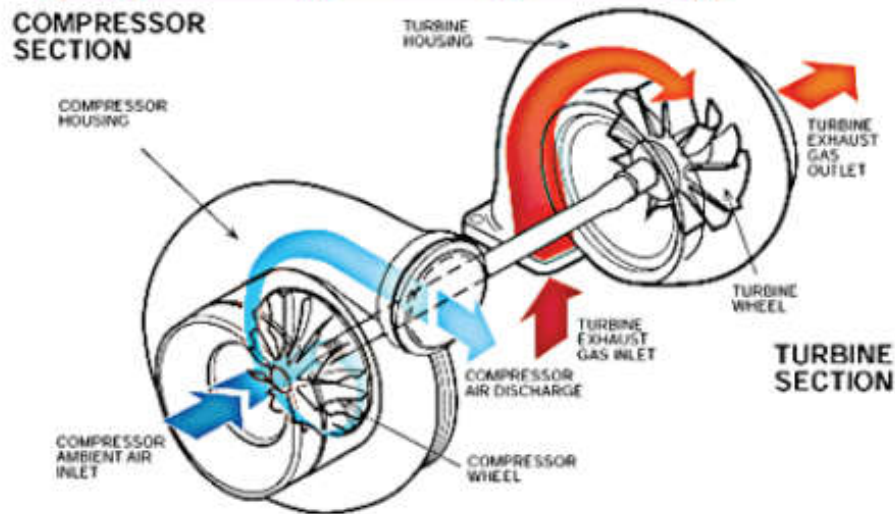
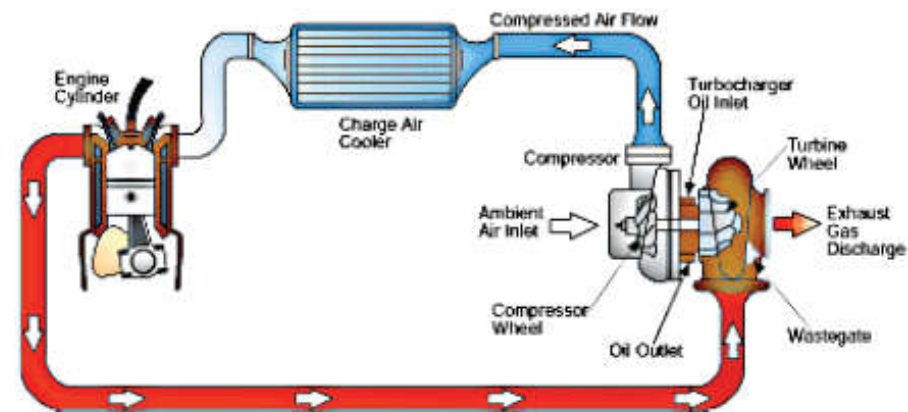
Sovralimentazione



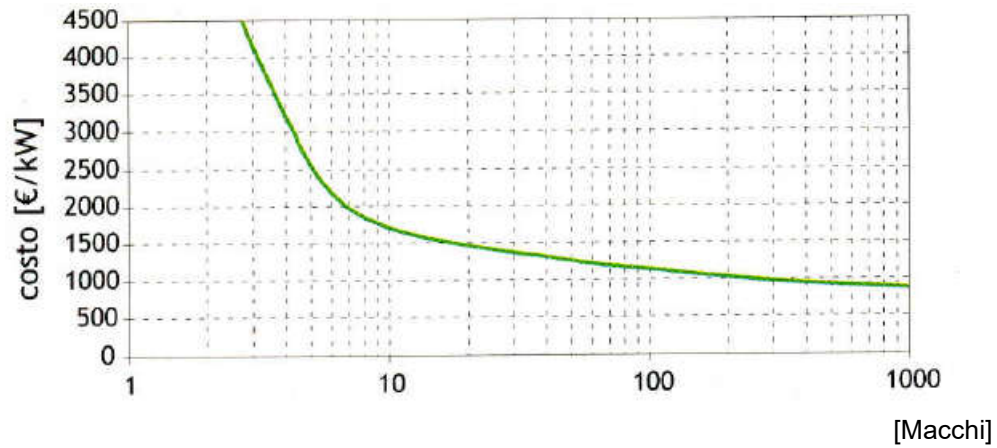
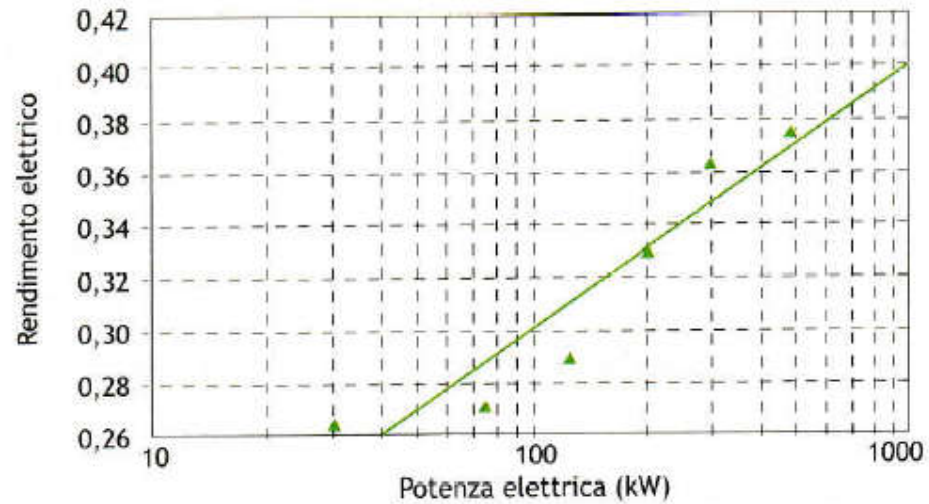
[Macchi]

Sovralimentazione

Source: <http://auto.howstuffworks.com/turbo.htm>



Costi e prestazioni sistemi



[Macchi]

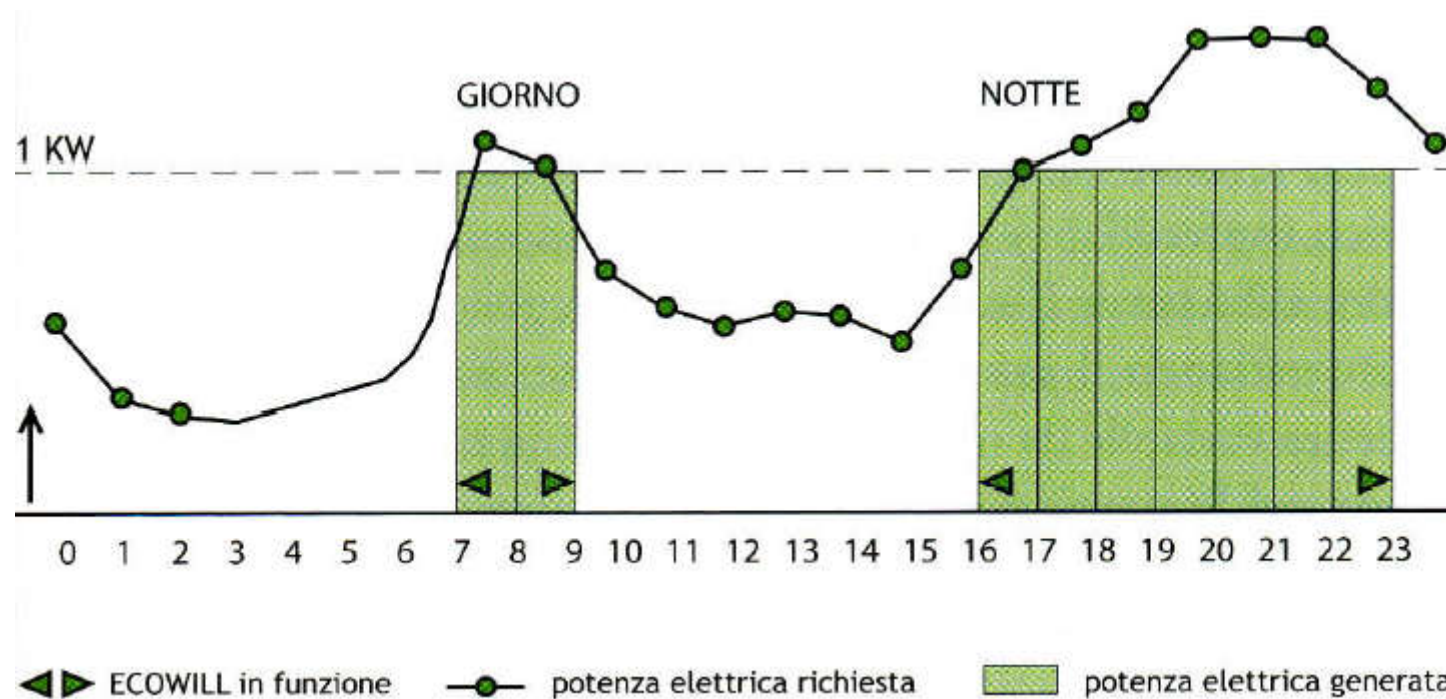
Costi e prestazioni sistemi

| Costi e caratteristiche | Tedom 522AP 45 kW | Waukesha VSG11G 75 kW | MAN 100 kW | Cummins GSK19G 300 kW | Caterpillar G3516 LE 800 kW |
|--|-------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Potenza nominale[kW _{el}] | 45,5 | 75,0 | 100,0 | 300,0 | 800,0 |
| Costo totale d'installazione (€/kW _{el}) | n.d. | 1 100 | 1 190 | 950 | 1 000 |
| Rendimento elettrico [%, rif. PCI] | 28,4 | 27,2 | 33,7 | 34,2 | 36,6 |
| Velocità di rotazione [rpm] | 3 000 | 1 500 | 1 500 | 1 500 | 1 000 |
| Costo di manutenzione €/MWh | n.d. | 15 | 14,5 | 10 | 7,6 |

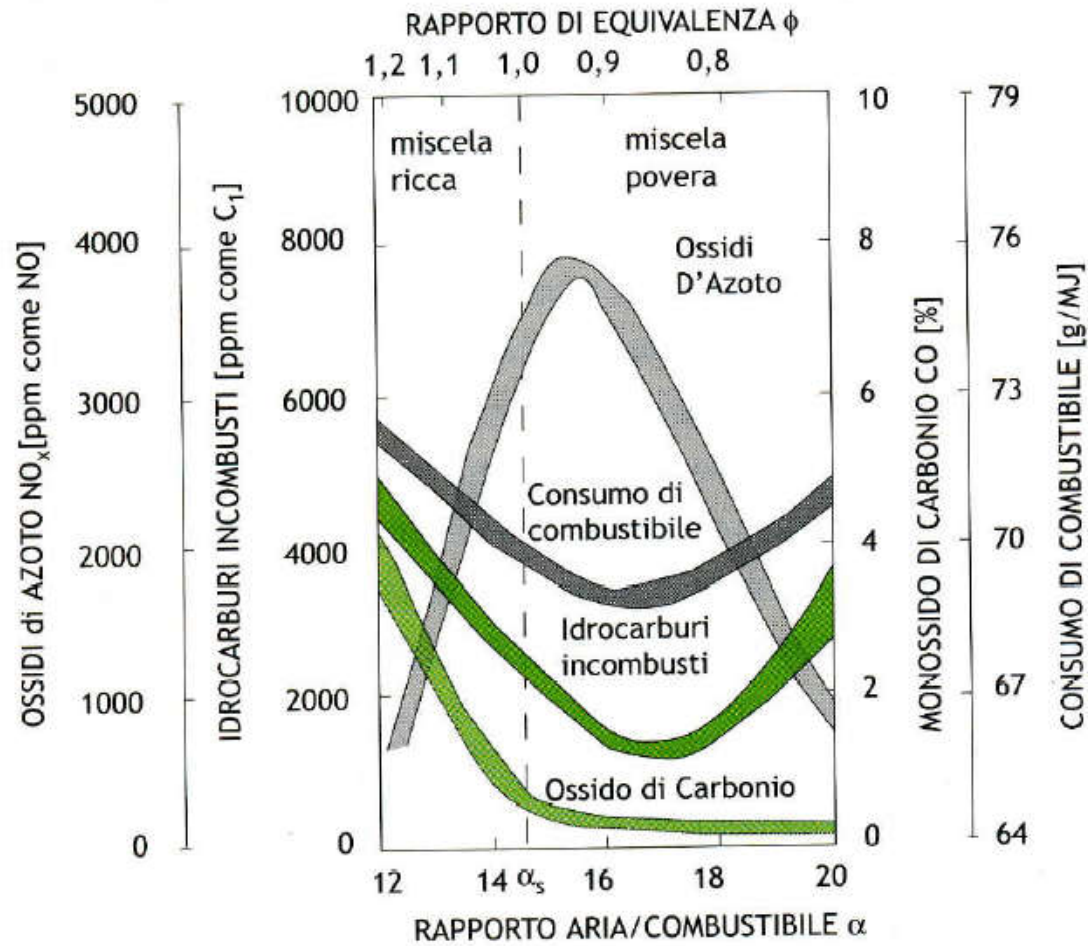
| Caratteristiche | Ecowill (Honda) | Senertec (DACHS) |
|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Potenza elettrica | 1 kW _{el} | 5,0 kW _{el} |
| Rendimento elettrico netto | 20% PCI | 26% PCI |
| Potenza termica recuperabile | 3,25 kW _{th} | 12,3 kW _{th} |
| Rendimento totale (elettrico+termico) | 85% | 89% |
| Dimensioni (Largh.xProf.xAlt.) | 0,38x0,58x0,88 m | 0,72x1,1x1,0 m |
| Massa | 81 kg | 520 kg |
| Costo (€) | 6 000 | 13 000 |
| Catalizzatore | 3 vie (sonda λ) | Ossidante |

[Macchi]

Gestione piccolo impianto cogen.

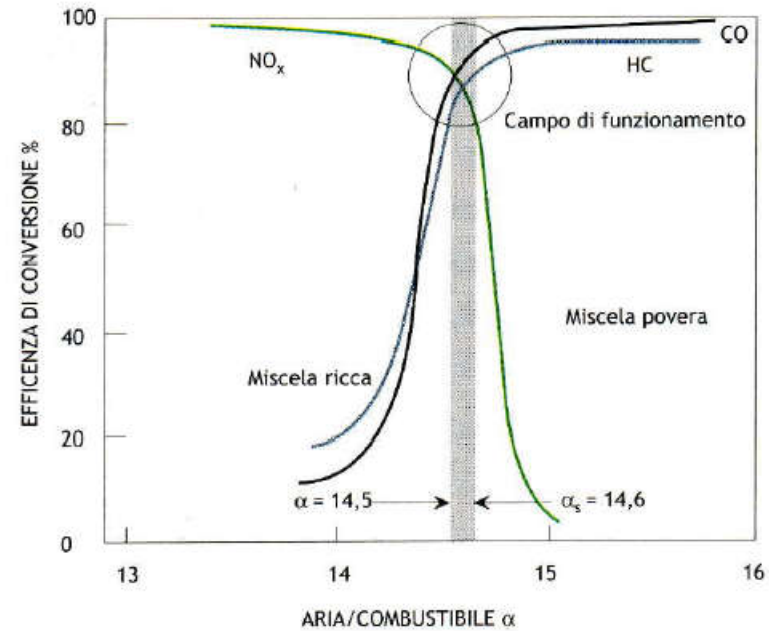
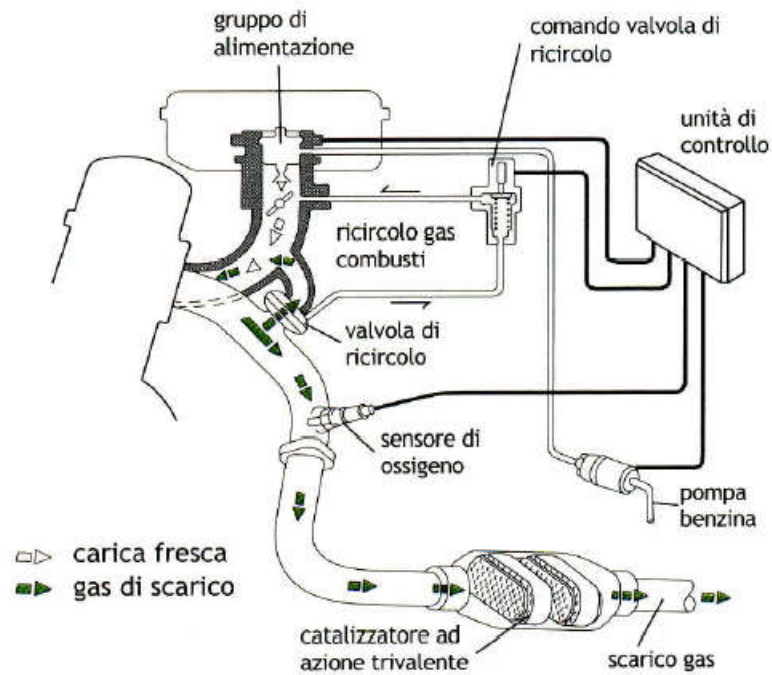


Emissioni motore ciclo Otto

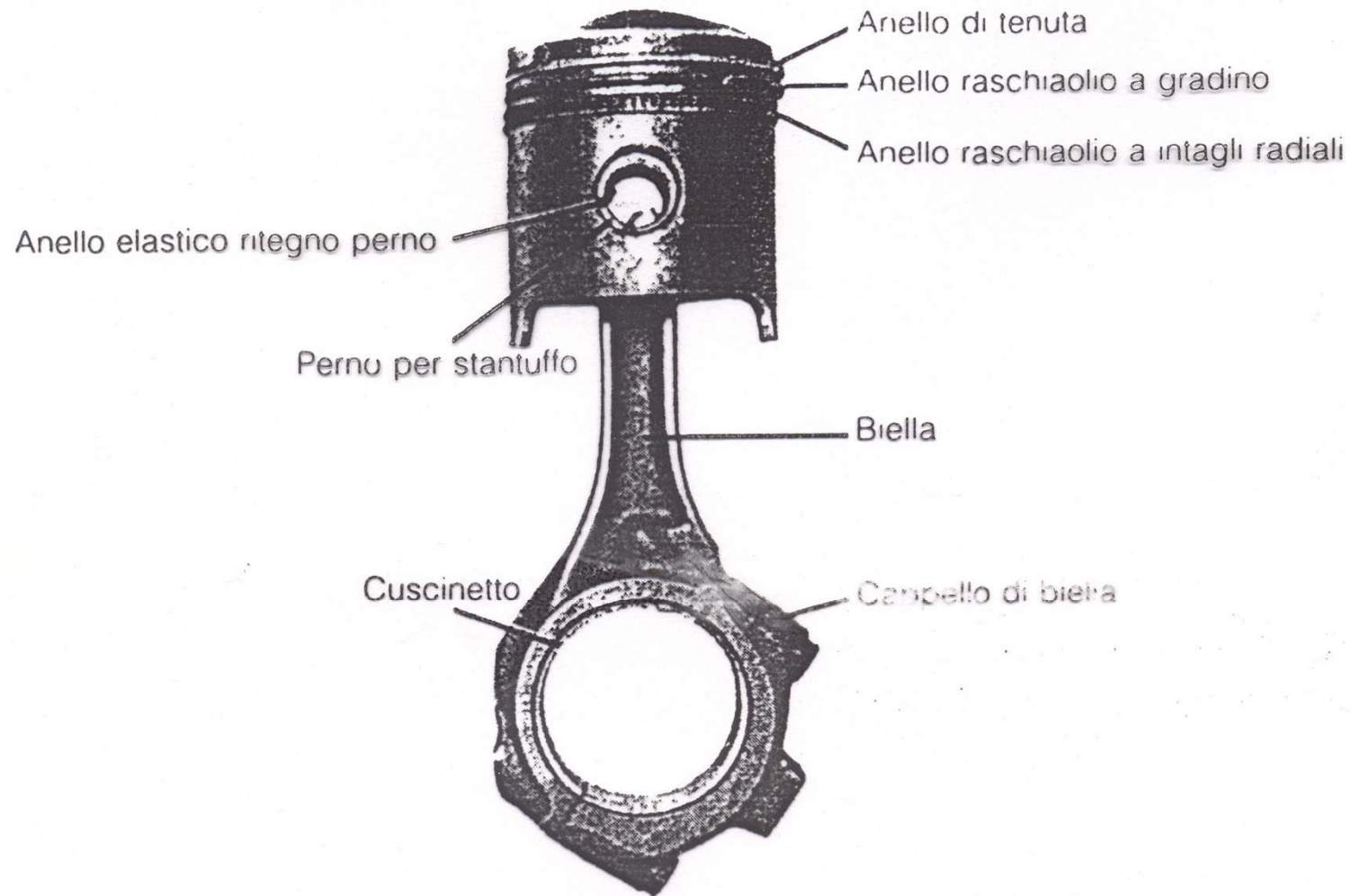


[Ferrari]

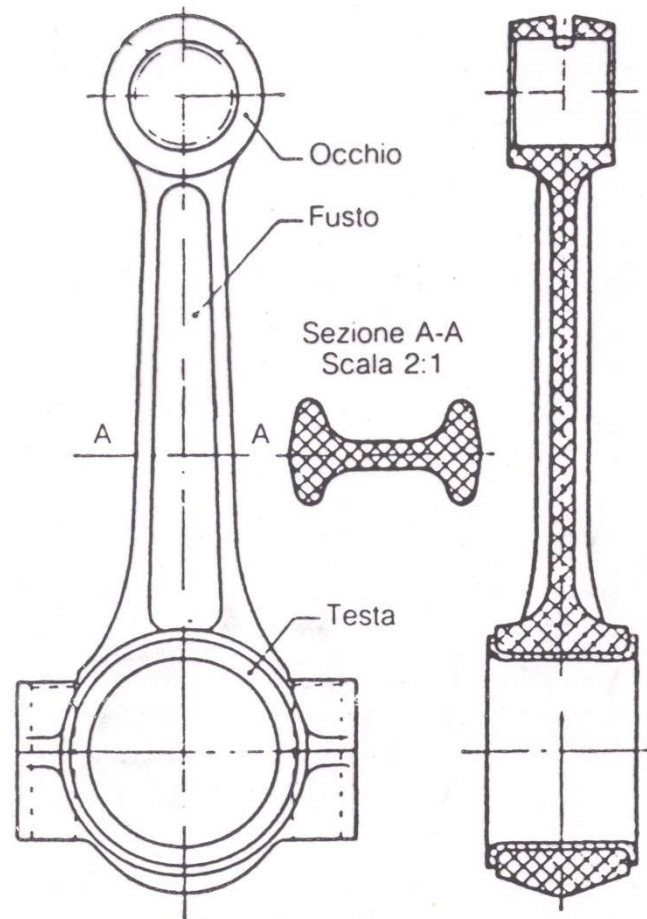
Catalizzatore trivalente (Otto)



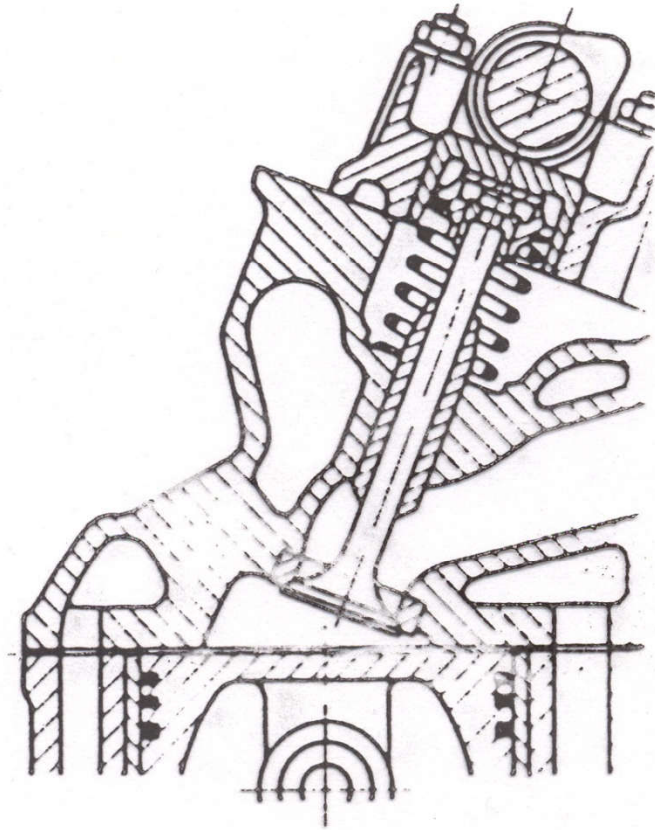
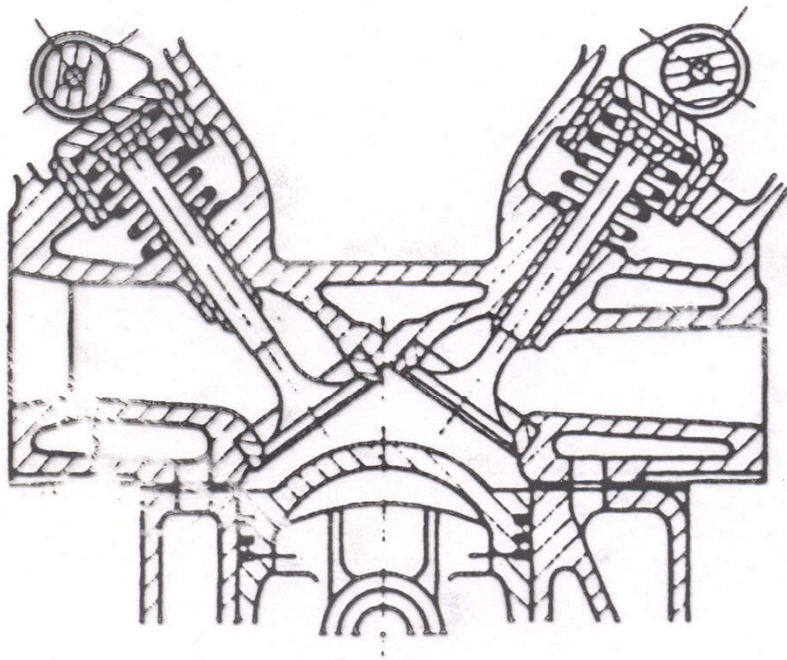
Componenti – Pistone/Bielle



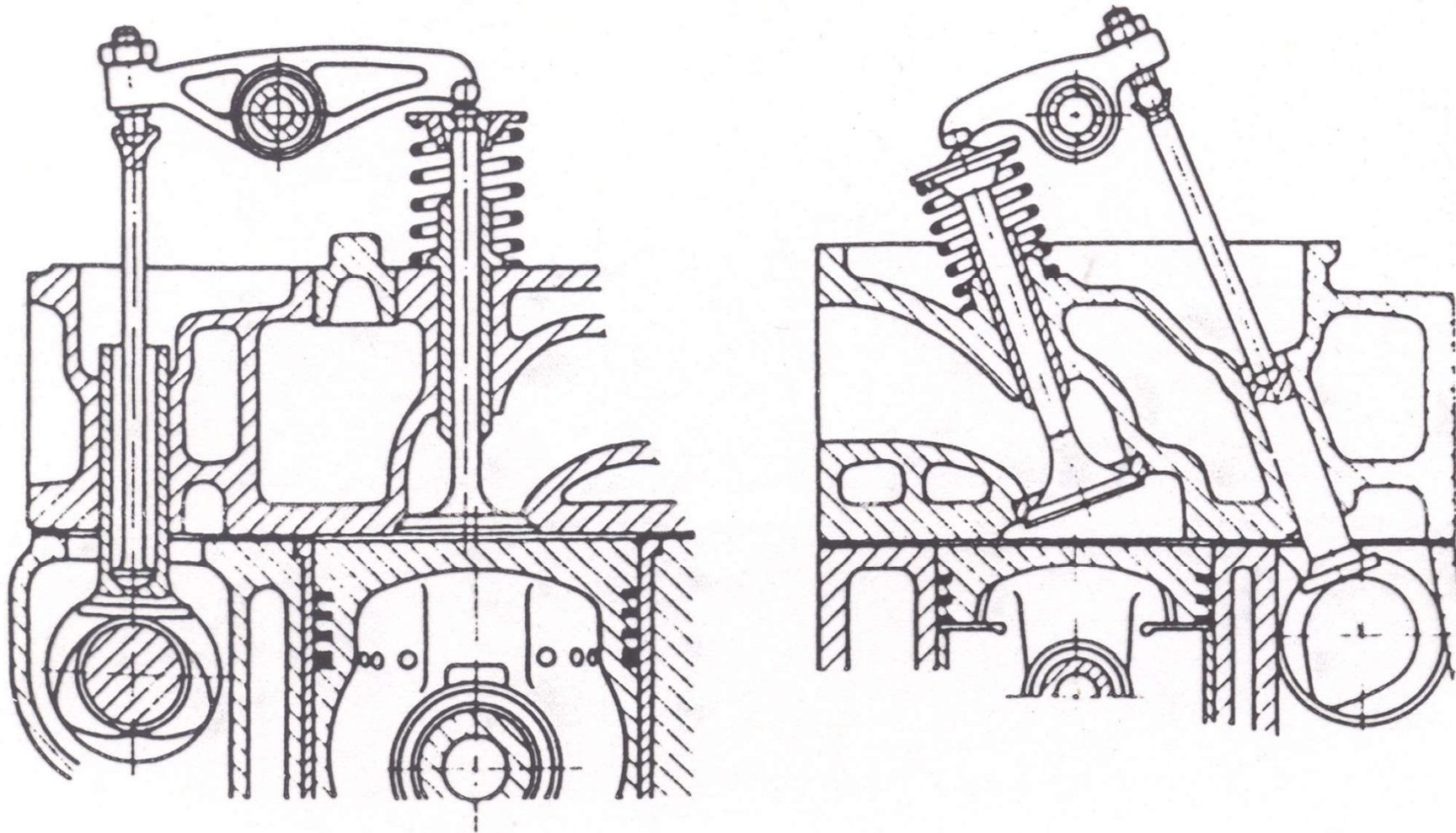
Componenti - Biella



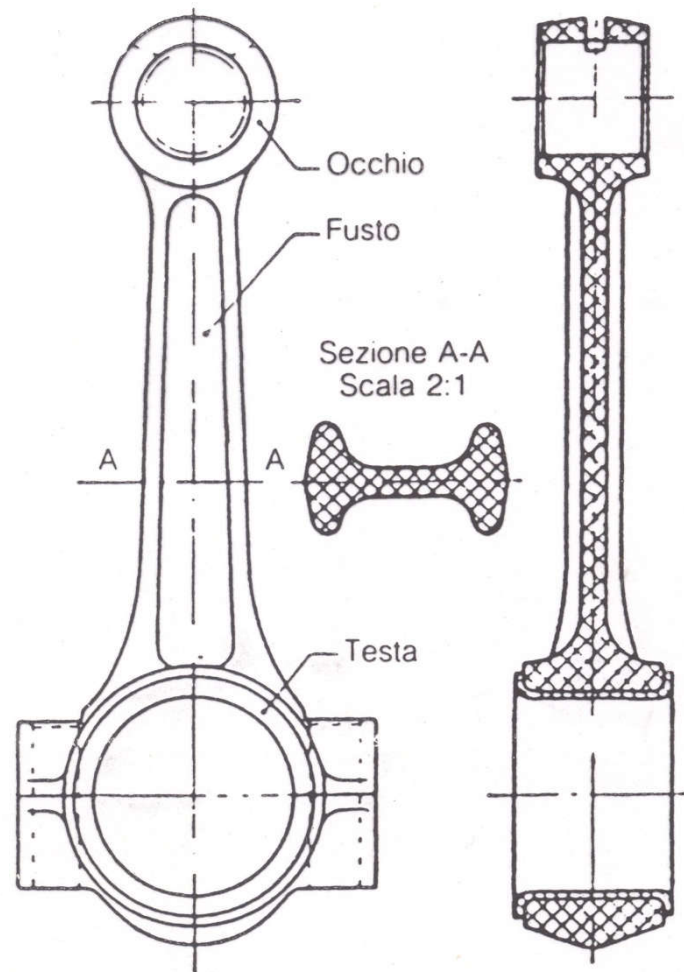
Componenti - Valvole



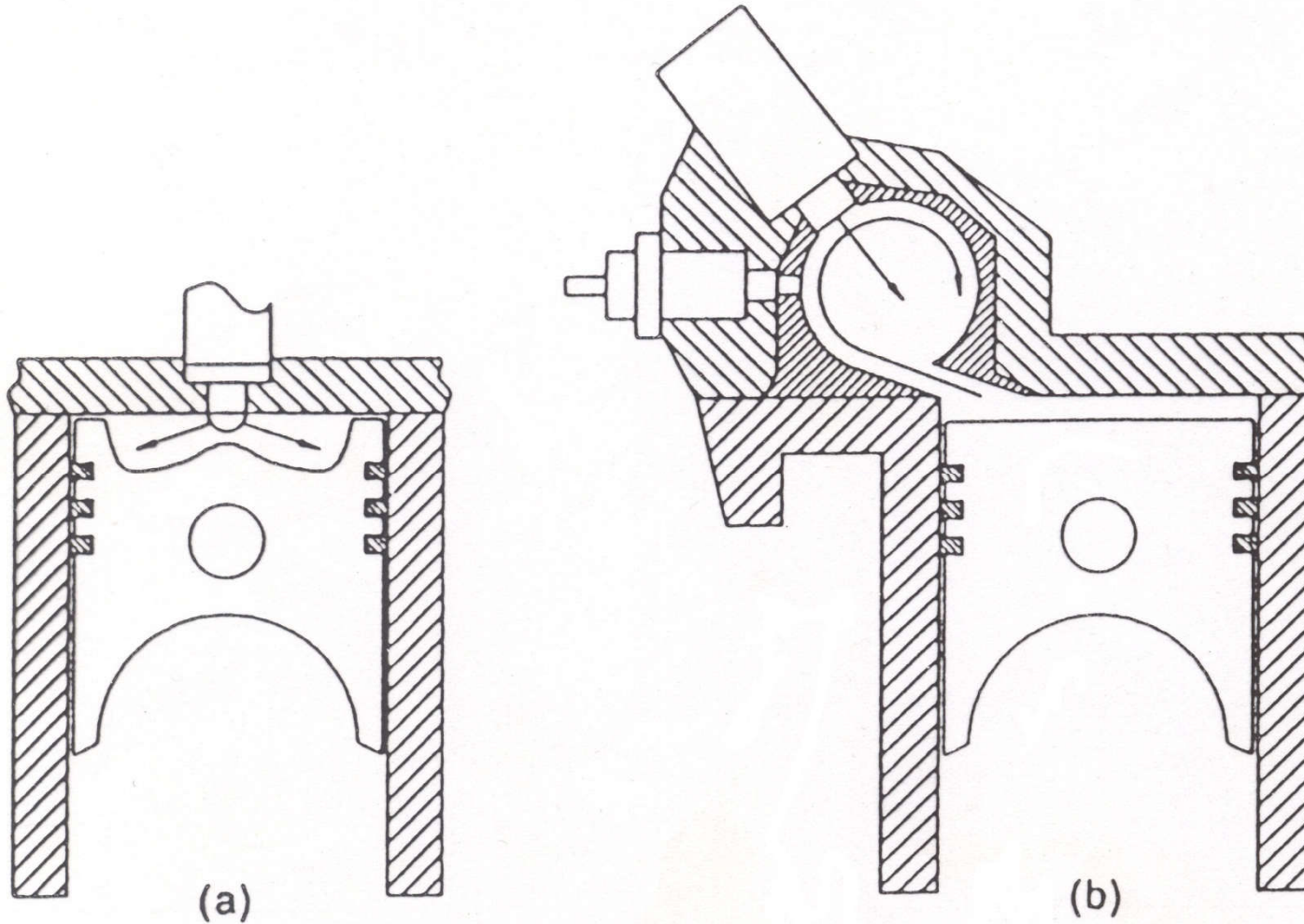
Componenti - Valvole



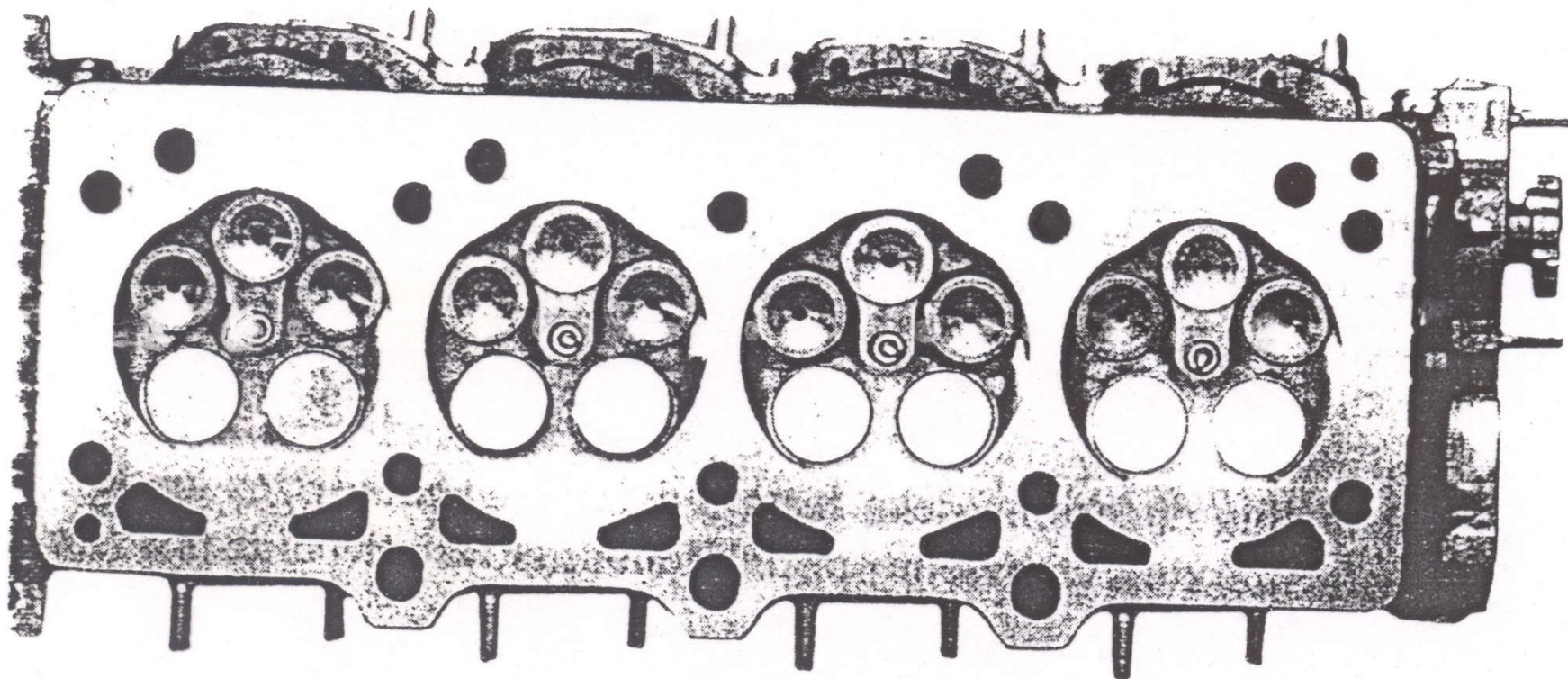
Componenti



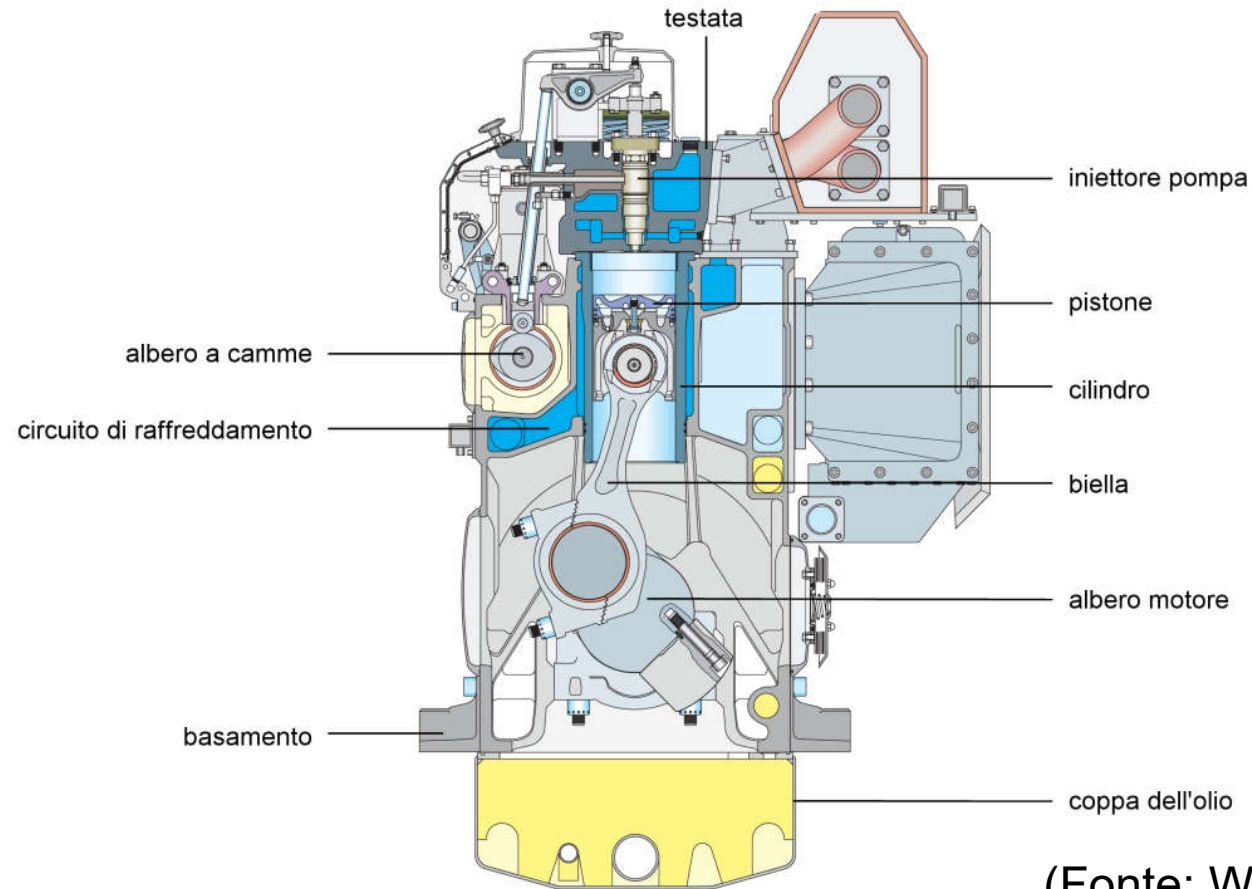
Componenti – Camere di combustione



Motore Ferrari F 355 V 8 di 90° - Particolare della testa a cinque valvole



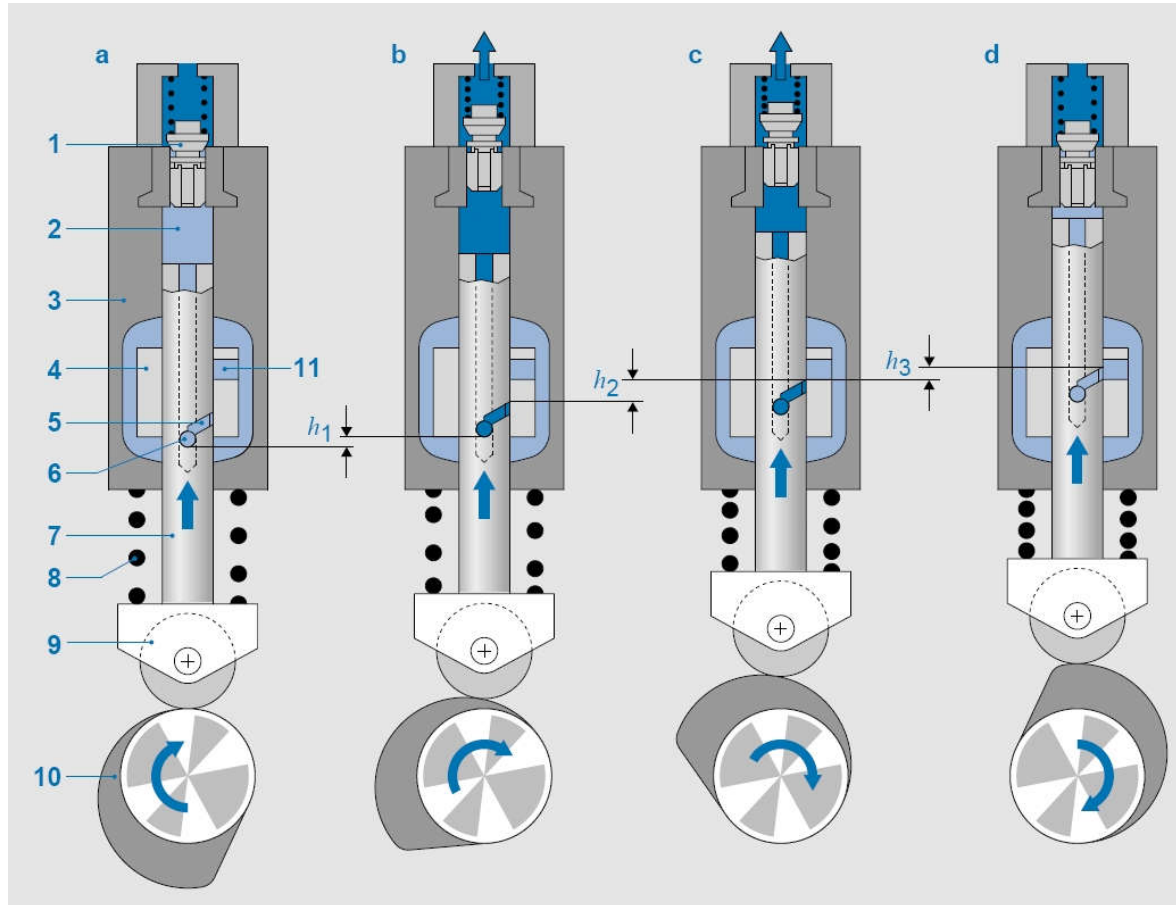
Sezione di un motore Diesel



(Fonte: Wartsila)

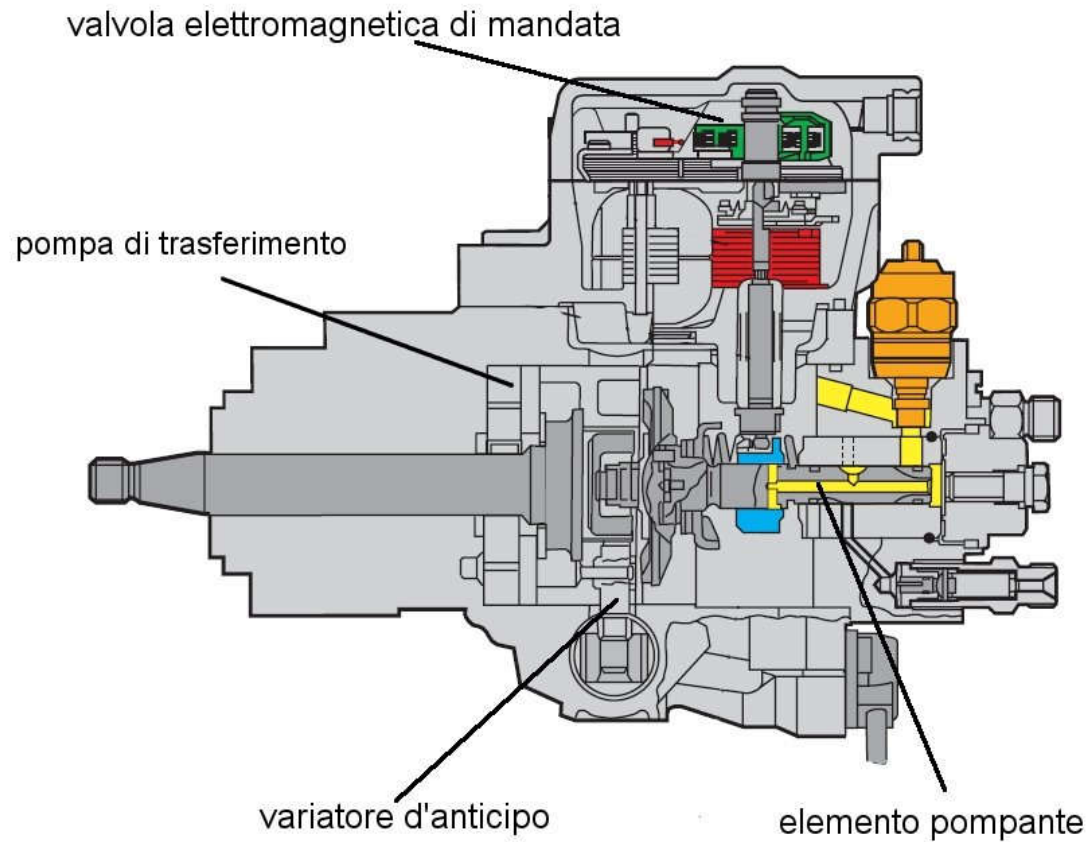
Sistemi di alimentazione

Pompa in linea



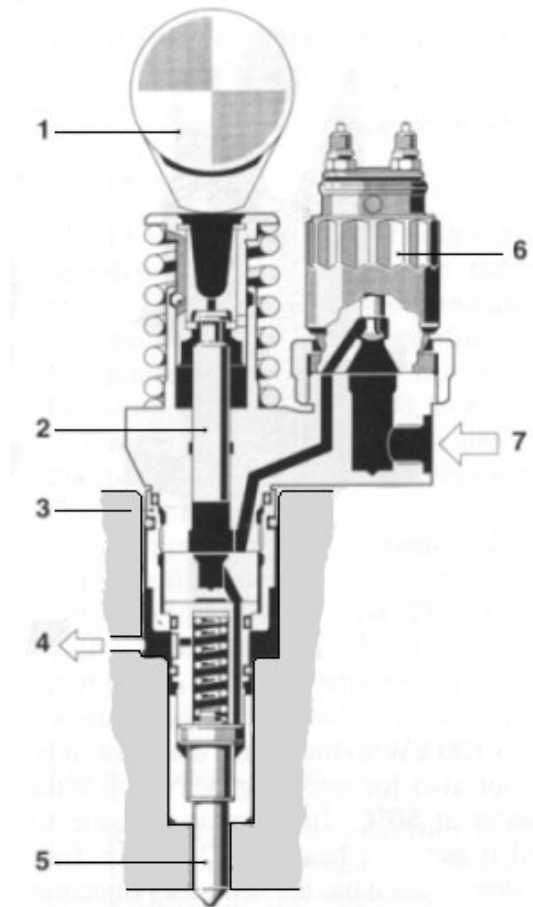
Sistemi di alimentazione

Pompa rotativa

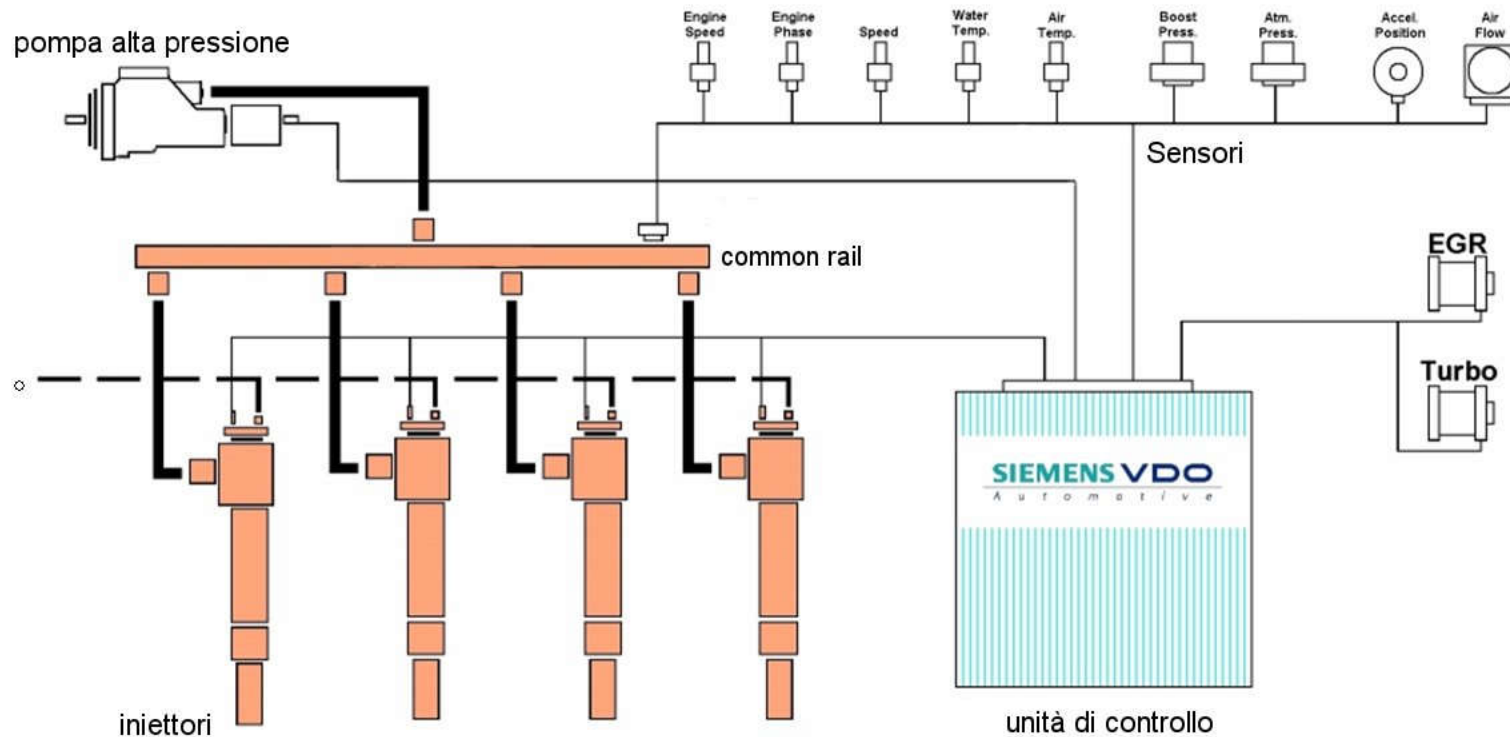


Sistemi di alimentazione

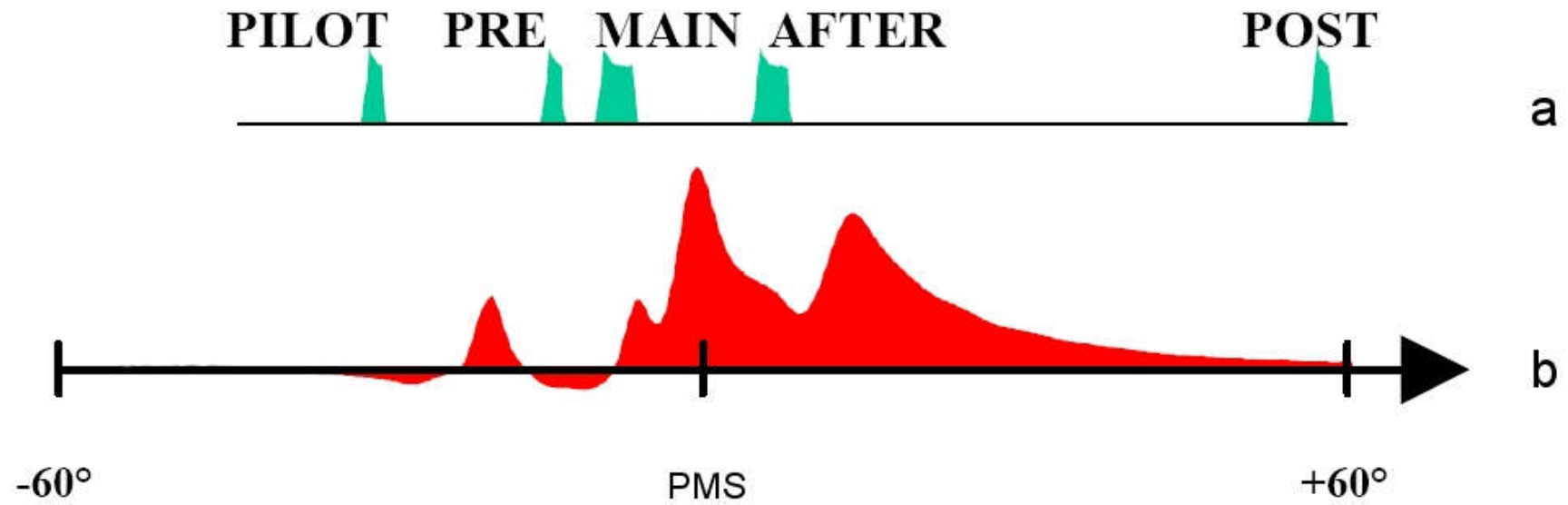
Iniettore pompa



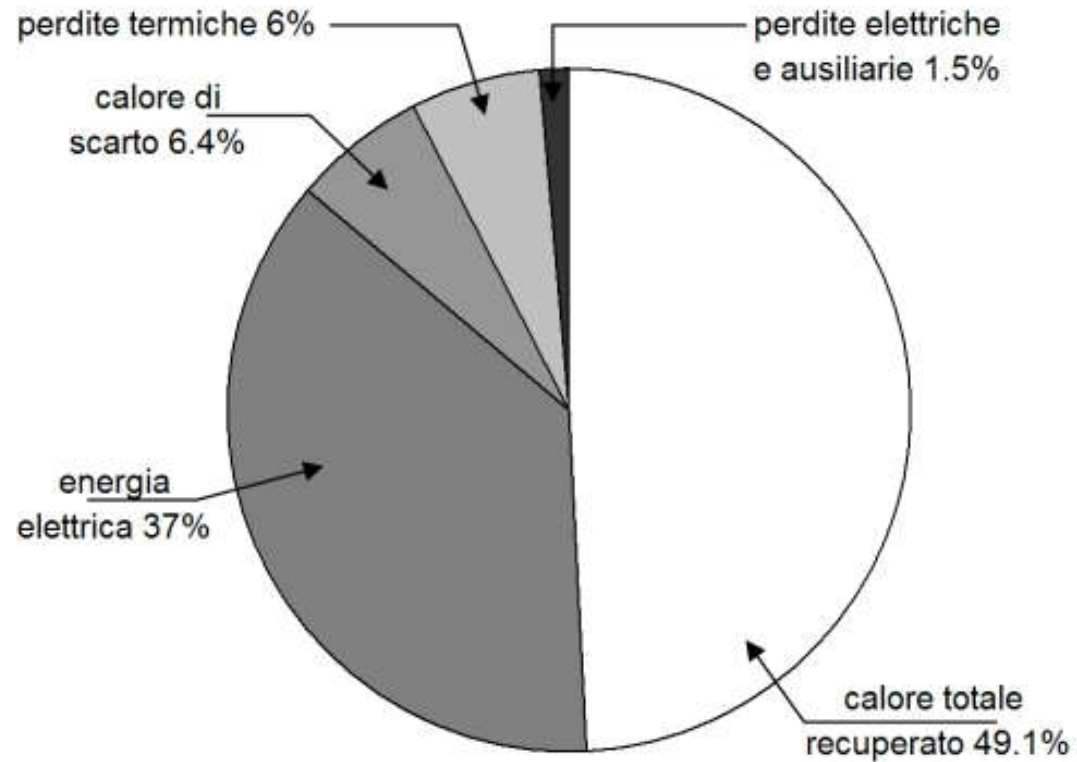
Sistemi di alimentazione Common rail



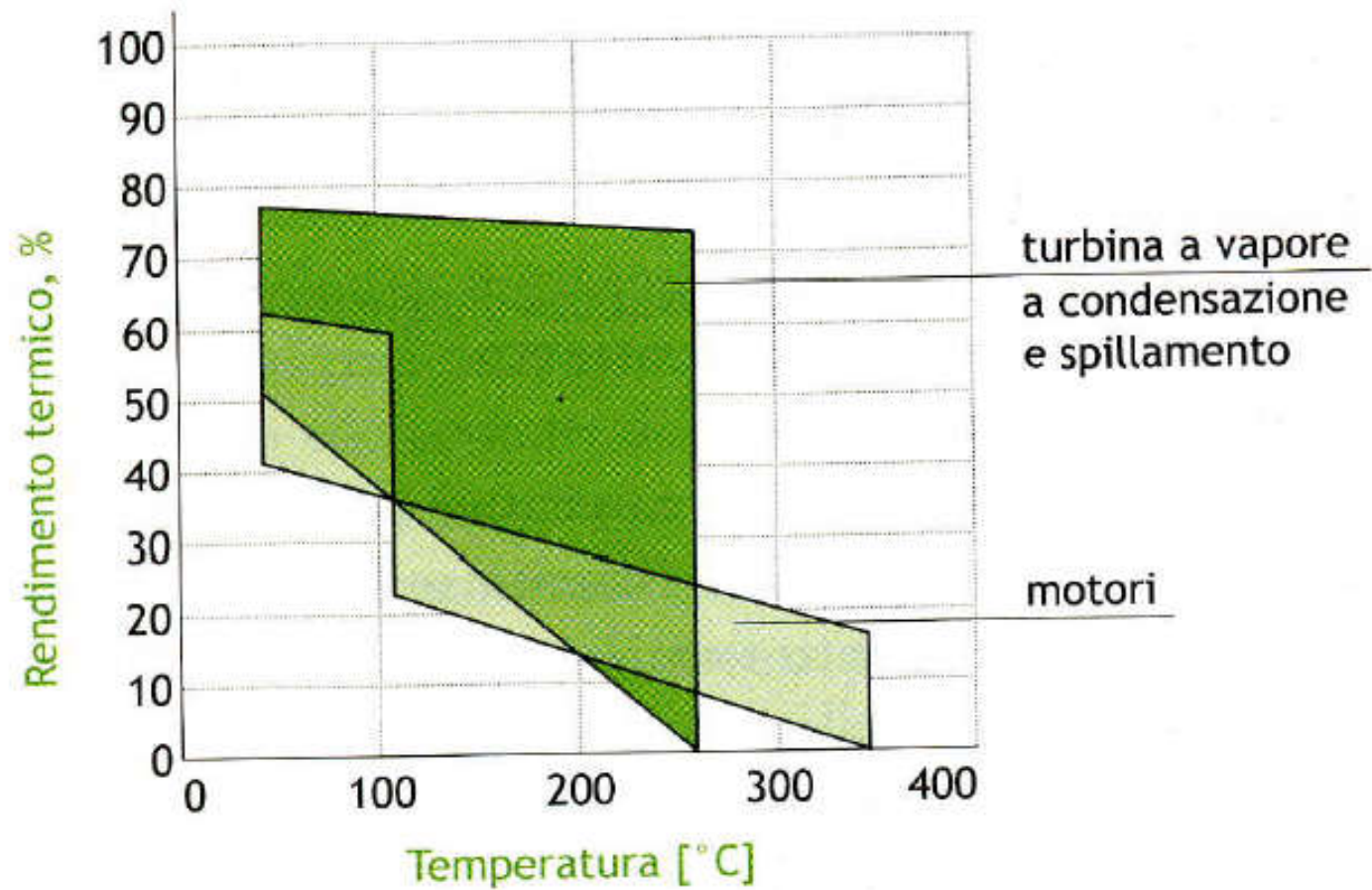
Multi Jet



Flussi energetici in un tipico motore di taglia media (500 kWel)

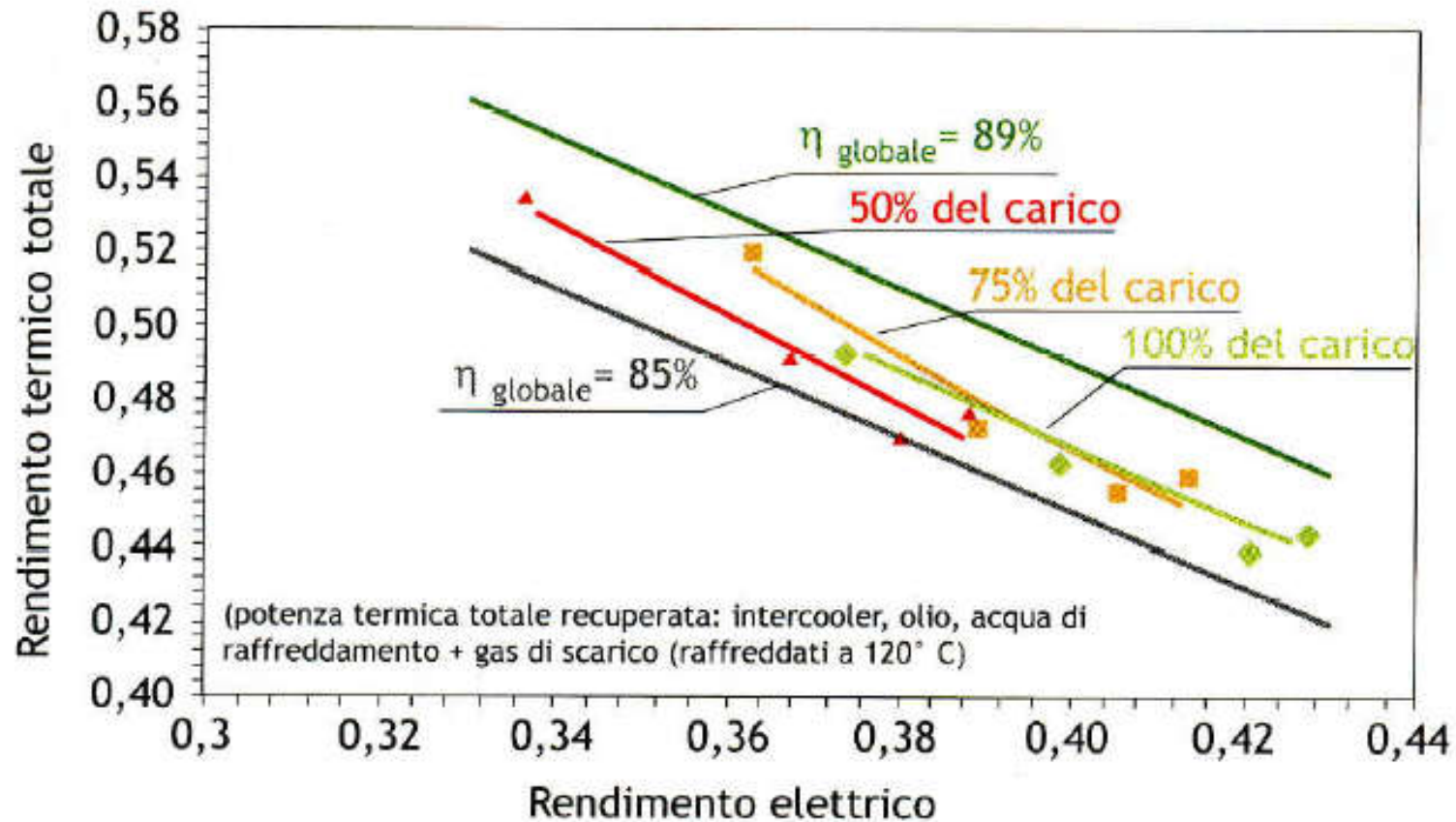


Rendimento termico in funzione della temperatura

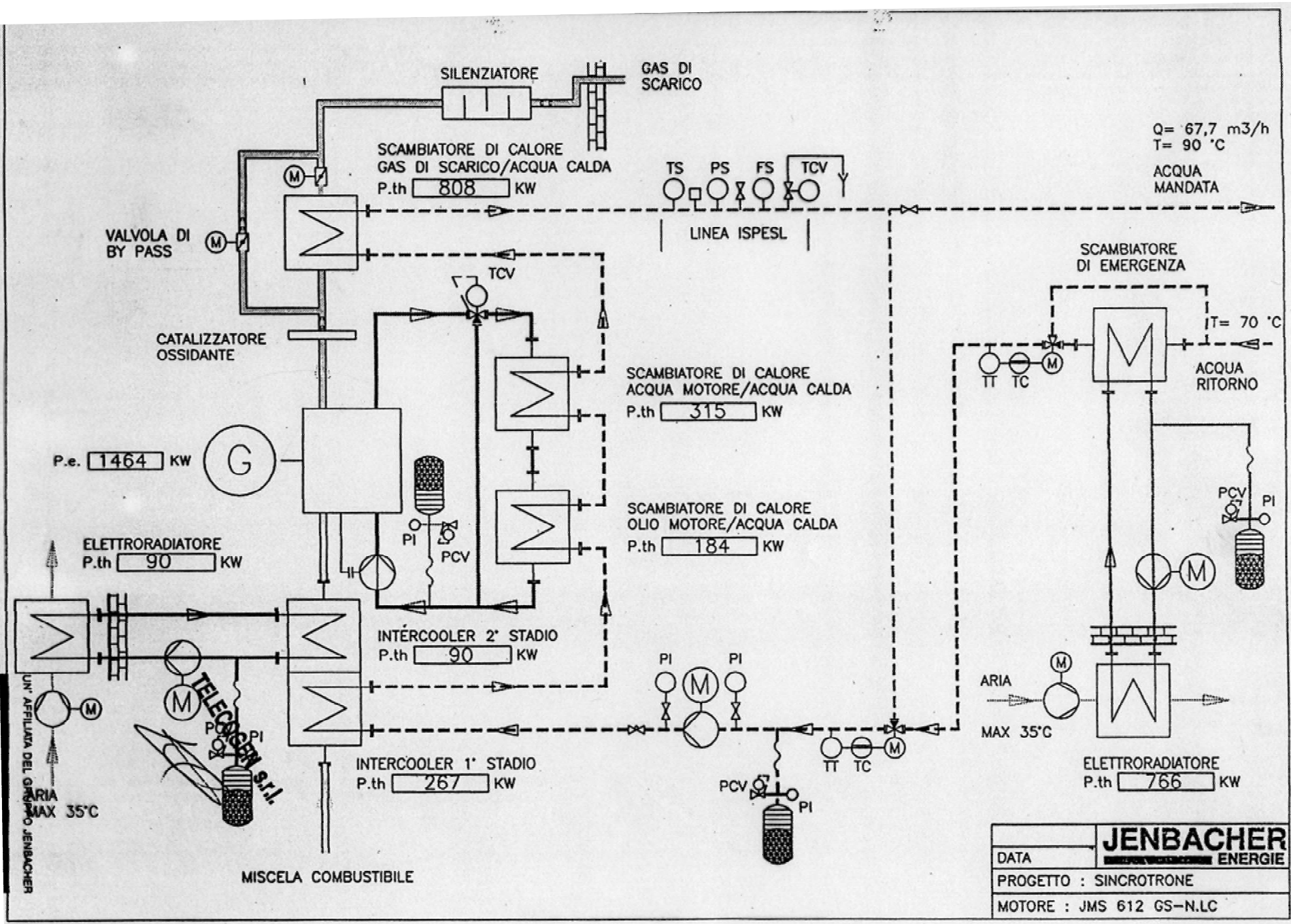


[Macchi]

Rendimento termico in funzione del rendimento elettrico



[Macchi]



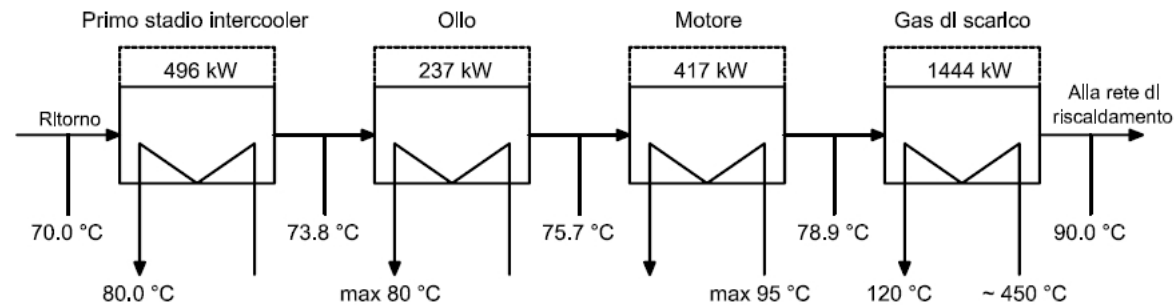
| | |
|--------------------------|----------------|
| JENBACHER | |
| DATA | ENERGIE |
| PROGETTO : SINCROTRONE | |
| MOTORE : JMS 612 GS-N.LC | |

Esempio di MCI in assetto cogenerativo

CIRCUITO ACQUA CALDA

Potenze termiche recuperabili = 2594 kW ($\pm 8\%$)

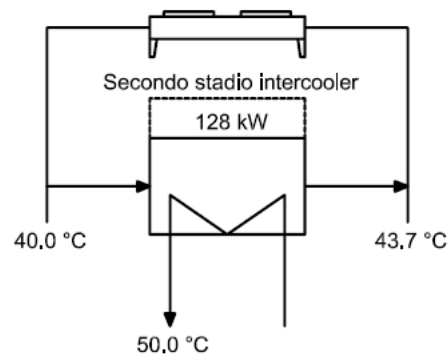
Portata nominale = 111,5 m³/h



CIRCUITO A BASSA TEMPERATURA

Potenze termiche da dissipare = 128 kW ($\pm 8\%$)

Portata acqua di raffreddamento = 30,0 m³/h



Dati tecnici del motore

GE Jenbacher J616 GS-E12

| | |
|-------------------------------|---------|
| Numero di cilindri | 16 |
| Disposizione cilindri | V 60° |
| Ciclo di funzionamento | 4 tempi |
| Alesaggio [mm] | 190 |
| Corsa [mm] | 220 |
| Cilindrata totale [l] | 99,8 |
| Potenza [kWel] | 2433 |
| Velocità nominale [giri/min.] | 1500 |
| Peso a secco [kg] | 10000 |
| Lunghezza [mm] | 4894 |
| Larghezza [mm] | 1886 |
| Altezza [mm] | 2503 |

Note

- Completare con lo studio con il cap.3 del libro Macchi et *al*, La microcogenerazione con gas naturale, ed polipress, 2005
- Per ulteriori approfondimenti:
G. Ferrari, “Motori a combustione interna”