



MEDICLIMA 2015

STRATEGIE ENERGETICHE E AMBIENTALI IN AREA MEDITERRANEA
ambiente - comfort - clima - acustica - illuminazione
 il ruolo delle costruzioni nell'efficiamento energetico previsto dalla Roadmap 2050

Efficienza energetica e sistemi complessi - Spin-off Unige

Relatore
 Prof. Ing. Giulio Croce
 Prof. Ing. Antonio Satta




Advanced Machines
for Power and
Propulsion



Una considerazione sull'energia

La disponibilità e l'utilizzo di energia 2
 hanno determinato il **progresso** dell'umanità attraverso

- la crescita industriale e tecnologica
- lo sviluppo degli scambi commerciali e culturali tra i popoli.
- la crescita sociale

D'altra parte:

- l'**energia** insieme con la **materia** è uno dei due fattori che costituiscono l'esistente
- l'**energia** nelle sue molteplici forme è **alla base** dei fenomeni naturali
- l'**energia** rappresenta un bene molto ambito ed **irrinunciabile**

L'uomo
 ne ha sempre desiderato la disponibilità ed una volta conseguita
 ne ha manifestato un bisogno **crescente** nel tempo.



Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015
 Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Una considerazione sull'energia

3

L'evoluzione della esigenza di energia è un processo *involutivo* (Acton-Caputo)

Soddisfatta l'esigenza di energia,

il **benessere** e la **prosperità** che ne derivano

ne incrementano ulteriormente il bisogno

e rendono molto ambito il diritto di **fruirne**

anche da parte di quanti non vi avessero avuto ancora accesso.

Questo processo, come può facilmente intendersi, produce crescite molto rapide stimate in un tasso annuo del 7% fino agli anni 2000.



Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Una considerazione sull'energia

4

Incrementare la disponibilità di energia è una esigenza **irrinunciabile**:

- sia per progredire nel benessere
- sia per non perdere quello acquisito
- sia per distribuirlo a quanti ancora non ne godano

Il livello attuale delle quantità di energia **annualmente** convertite

è tanto elevato da non poter **disgiungere** l'analisi dei processi di conversione e di trasformazione di energia dai problemi causati dalla

traccia inesorabile e nociva che essi lasciano nell'ambiente, inquinandolo.

Pertanto al problema della **conversione di energia** deve essere associato quello della

salvaguardia dell'ambiente



Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Una considerazione sull'energia

5

La soluzione del primo problema

Fonti e Conversione di energia

**è una necessità irrinunciabile
ricorrendo alle risorse opportune**

la soluzione del secondo problema

Salvaguardia dell'ambiente

**è un dovere da assolvere assolutamente
ricercando e proponendo nuove ed adeguate tecnologie**

Servono

**soluzioni sempre rispettose dell'ambiente, tecnologicamente progredite ed
ottimizzate in relazione alle esigenze ambientali oltre che a quelle economiche.**

Rispondono a queste esigenze

Gli impianti combinati, gli impianti per la cogenerazione e per la trigenerazione



Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

L'energia elettrica

Gran parte dell'energia elettrica generata in Italia e nel mondo proviene da

6

Impianti motori termici

Il calore ad alta temperatura è convertito in energia meccanica e quindi in energia elettrica

Motore primo

Alternatore

Il calore proviene

Centrali nucleari



Reazioni di fissione

combustibili vari

Centrali termoelettriche



**(carbone, gas naturale, frazioni di
petrolio, biomasse)**



Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Ciclo termodinamico

La conversione dalla specie termica a quella meccanica è **complessa**, si realizza attraverso un 7

Ciclo termodinamico

Esistono e possono essere proposti diversi cicli termodinamici. I più diffusi sono:

Cicli a vapore acqueo (Rankine - Hirn)

Cicli a gas (Brayton - Joule)

Non tutto il calore fornito al ciclo può essere convertito in lavoro (**II Principio della Termodinamica**)

Il limite massimo della quota di calore convertibile in lavoro è fissato dal rendimento del

Ciclo di Carnot



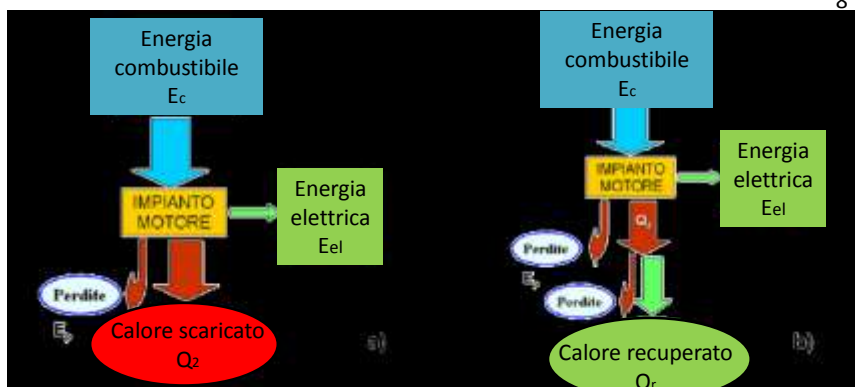
Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Cogenerazione e cogenerazione utilizzata (combinata)

8



a) Impianto motore a ciclo semplice

b) impianto motore cogenerativo



Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Rendimento globale

L'impianto è alimentato con combustibile a cui corrisponde

9

Energia chimica E_c

L'impianto, attraverso una successione chiusa di trasformazioni termodinamiche fornisce energia meccanica convertita in

Energia elettrica E_{el}

Il rendimento globale di conversione dell'impianto è dato dal rapporto

$$\eta_g = \frac{E_{st}}{E_c}$$

$E_{el} = 35\%$

$Q_2 = 55\%$

$E_p = 10\%$



Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Calore scaricato

I rapporti percentuali che quantificano il calore di scarto parlano chiaramente (55%). 10

Riscaldamento dell'acqua dei fiumi e del mare: condensatori

Immissione nell'atmosfera: torri di raffreddamento



Torri di raffreddamento di una centrale termoelettrica: servono a smaltire il calore ceduto dal ciclo termodinamico dissipandolo nell'ambiente.



Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Rendimenti impianto cogenerativo

11

Nell'impianto cogenerativo Il calore Q_r del ciclo termodinamico è recuperato per essere sfruttato Q_r

Si definiscono i seguenti indici prestazionali:

- Rendimento elettrico di cogenerazione

$$\eta_{el} = \frac{E_{el}}{E_c}$$

- Rendimento termico di cogenerazione

$$\eta_t = \frac{Q_r}{E_c}$$

- Fattore di utilizzazione di energia (EUF)

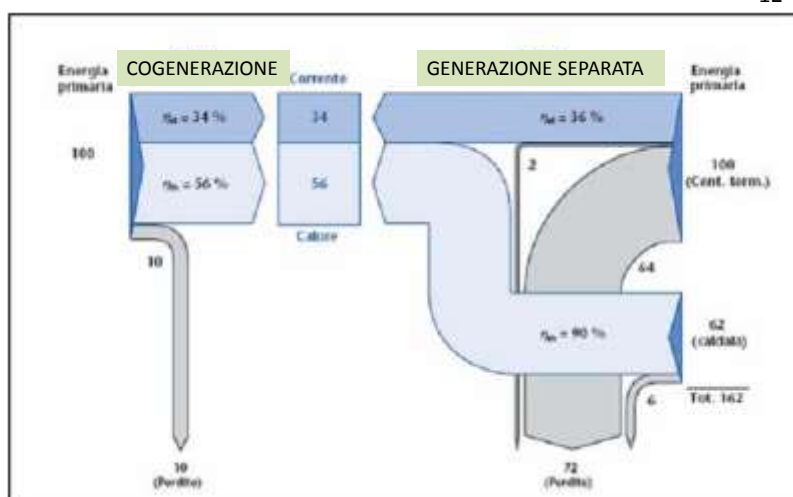
$$EUF = \frac{E_{el} + Q_r}{E_c} = \eta_{el} + \eta_t$$

- Rapporto di cogenerazione

$$y = \frac{E_{el}}{Q_r}$$

Esempio comparativo

12



Confronto fra produzione separata di energia elettrica e termica (SHP) e cogenerazione (CHP)

Inquinamento

Ridurre l'utilizzo di combustibili fossili è un obiettivo prioritario per lo sviluppo sostenibile 13

La combustione di combustibili fossili nelle centrali termiche e nelle caldaie determina emissioni di sostanze inquinanti

Gassose ossidi di azoto
 ossidi di zolfo
 monossido di carbonio
 idrocarburi

Non gassose particolato

Effetto serra anidride carbonica

La riduzione dell'utilizzo dei combustibili fossili può essere ottenuta :

- sistemi che sfruttano fonti rinnovabili integrative (non alternative)
- incremento dell'efficienza dei sistemi di conversione dell'energia η, EUP, y



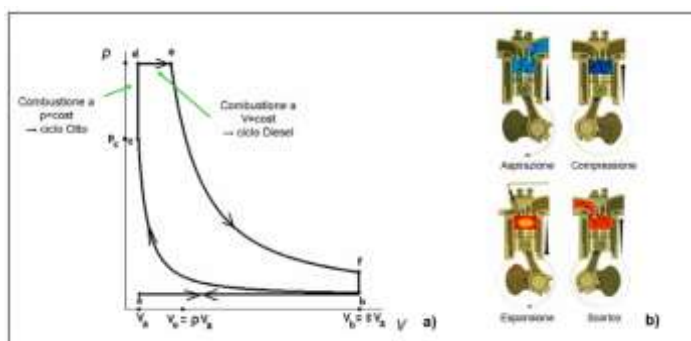
Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Motore a combustione interna alternativo

14



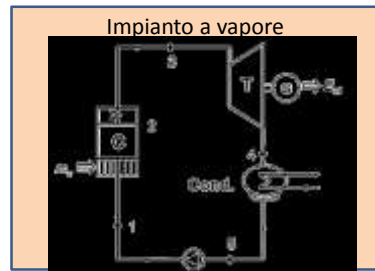
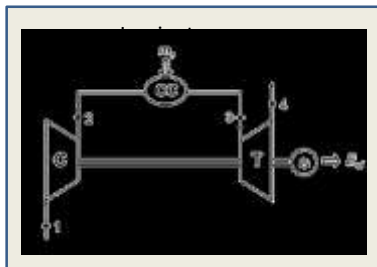
Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

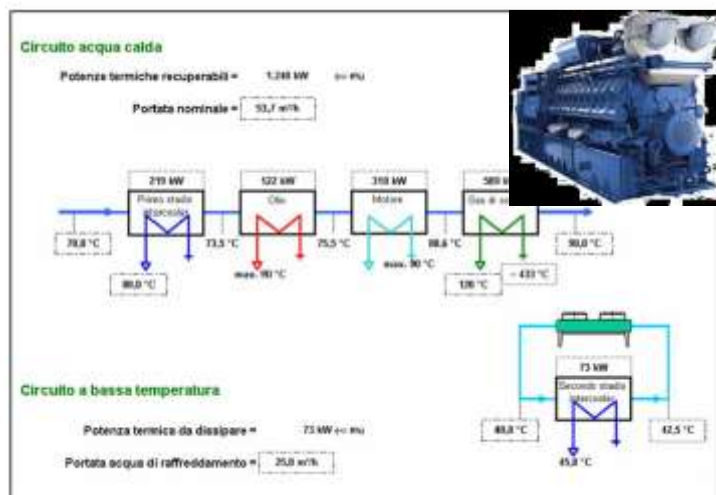
Schemi di impianti motori termici

15



Motore a combustione interna alternativo

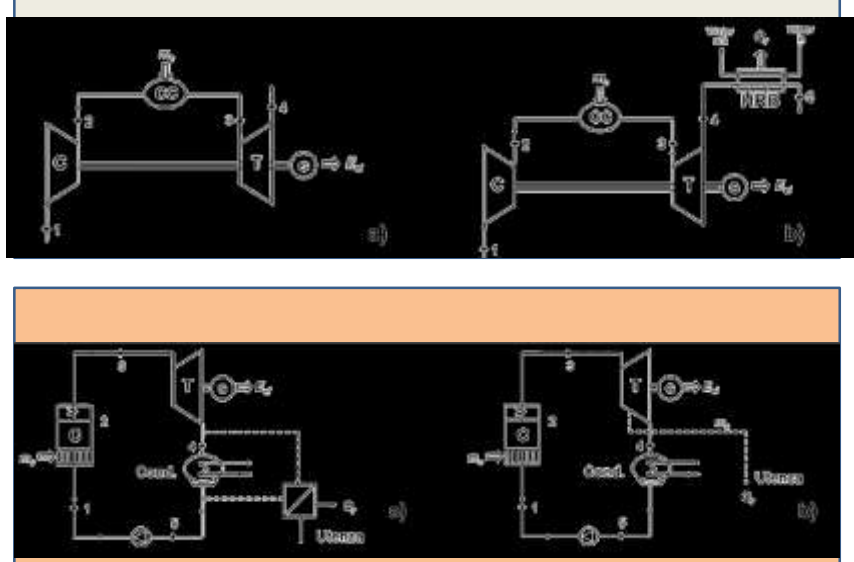
16



Recupero di calore da un motore a combustione interna sovralimentato cogenerativo.

Tipi di cogenerazione

17



Prof. Ing. Antonio Satta

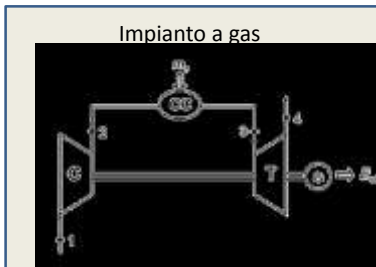
MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

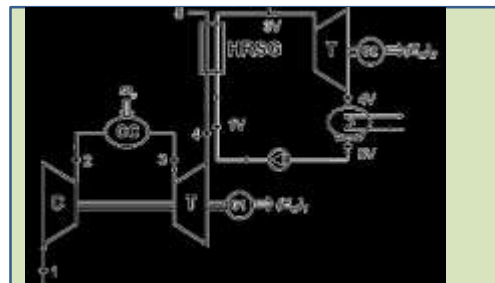
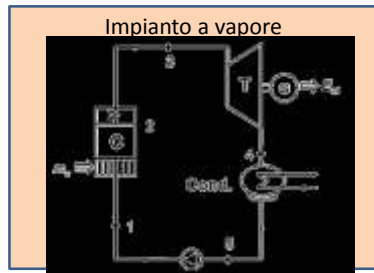
Schemi di impianti motori termici

18

Impianto a gas



Impianto a vapore

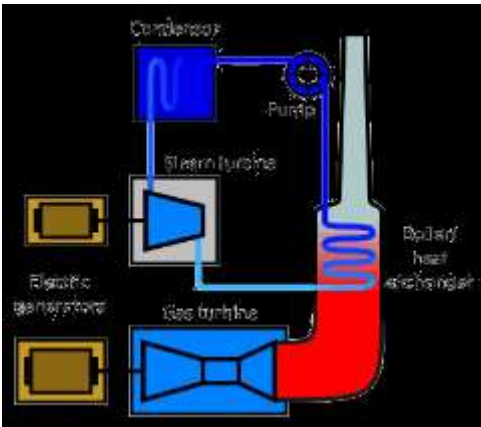


Prof. Ing. Antonio Satta

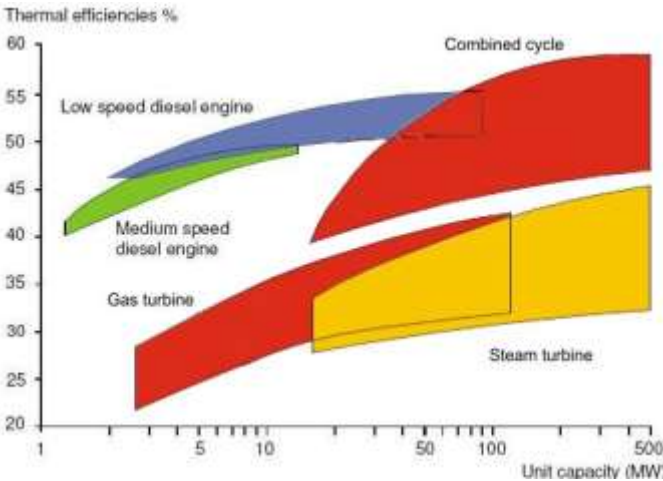
MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

19



20



Cogenerazione con motore a combustione interna 1

21

Potenza (MW)

0,01 - 5

Tipo di configurazione

- Ciclo Otto
- Ciclo Diesel

Componenti principali

- Motore a combustione interna
- Scambiatori per il recupero di calore dai vari cascami termici del motore

Tipo di Combustibile

Combustibili liquidi o gassosi: benzina, metanolo, gasolio, gas naturale, GPL, biocombustibili, syngas (gas di sintesi ottenuto da gassificazione di sostanze solide quali ad es. biomasse legnose) etc.

Cogenerazione con motore a combustione interna 2

2

EUF:

70 - 90 %

Rendimento elettrico, η_{el} :

30 - 45%

Rapporto di cogenerazione, γ :

0,4 - 1

Vantaggi

- Alta disponibilità
- Elevati indici prestazionali
- Ampia disponibilità di taglie, anche per le piccolissime potenze (microcogenerazione)³
- Buona risposta ai cambiamenti di carico
- Possibilità di effettuare frequenti avvisi ed arresti
- Calore disponibile a più livelli di temperatura
- Rapidità e semplicità installazione

Svantaggi

- Difficoltà nel contenere rumore e vibrazione, specie per i motori Diesel
- Richiedono combustibili pregiati (combustibili liquidi o gassosi)
- Buona parte del calore è disponibile a temperature medio-basse

Tempo di installazione

Max 1 anno

Ciclo di vita

Per piccole unità 10.000 - 30.000 ore
Per grandi unità 15 - 20 anni

Cogenerazione con impianto a gas - 1

23

Potenza (MW):*0.2 – 100 (sono possibili anche potenze superiori)***Tipo di configurazione:**

- *A ciclo aperto (il fluido che attraversa la turbina sono i prodotti stessi della combustione)*
- *A ciclo chiuso (con riscaldamento esterno del fluido che attraversa la turbina)*

Componenti principali:

- *Compressore*
- *Camera di combustione*
- *Turbina a gas*
- *Heat Recovery Boiler (HRB)*

Tipo di Combustibile:

Combustibili liquidi o gassosi: benzina, metanolo, gasolio, gas naturale, GPL, biocombustibili, syngas (gas di sintesi ottenuto da gassificazione di sostanze solide quali ad es. biomasse legnose) etc. Nel caso di turbine a gas a ciclo chiuso possono essere usati anche combustibili solidi.



Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Cogenerazione con impianto a gas - 2

24

EUF:*60 – 85 %***Rendimento elettrico, η_{el} :***22 – 37%***Rapporto di cogenerazione, y :***0.5 – 1.1***Vantaggi:**

- *Basso costo iniziale*
- *Alta disponibilità*
- *Buoni valori dei principali indici prestazionali*
- *Rapidi tempi di installazione*
- *Energia termica disponibile ad elevata temperatura*
- *Immediata risposta alle variazioni di carico*

Svantaggi:

- *Necessità di controlli periodici e revisioni programmate per le turbine i cui materiali operano in condizioni di alta criticità, in quanto fortemente sollecitati sia dal punto di vista termico che meccanico.*
- *Necessità di personale specializzato per il corretto funzionamento dell'impianto*
- *Non disponibili a frequenti avviamenti ed arresti*
- *Necessità di utilizzare combustibili liquidi o gassosi (per i sistemi a ciclo aperto)*



Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Cogenerazione con impianto a vapore - 1

25

Potenza (MW)*0.5 – 100 (sono possibili anche potenze superiori)***Tipo di configurazione**

- Contropressione (viene innalzata la pressione di condensazione)
- Spillamento (vapore viene prelevato in uno stadio intermedio di turbina)

Componenti principali

- Generatore di vapore
- Turbina a vapore
- Sistemi di utilizzo e/o smaltimento del calore

Tipo di Combustibile

Qualsiasi tipo di combustibile, essendo l'impianto a combustione esterna. Vengono impiegati anche mix di combustibili diversi, Rifiuti Solidi Urbani ed altri prodotti di scarto



Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Cogenerazione con impianto a vapore - 2

26

EU_F:*60 – 85 %***Rendimento elettrico, η_{el} :***20 – 35%***Rapporto di cogenerazione, ψ :***0 – 0.5***Vantaggi**

- Possibilità di impiego di una vasta gamma di combustibili
- Disponibilità di calore sottoforma di vapore a vari livelli di pressione e temperatura
- Lungo ciclo di vita
- Buona flessibilità

Svantaggi

- Sottrarre calore all'impianto determina riduzioni del rendimento termodinamico
- Ingombri elevati
- Lenta risposta alle variazioni di carico
- Necessità di vapore ad alta entalpia



Prof. Ing. Antonio Satta

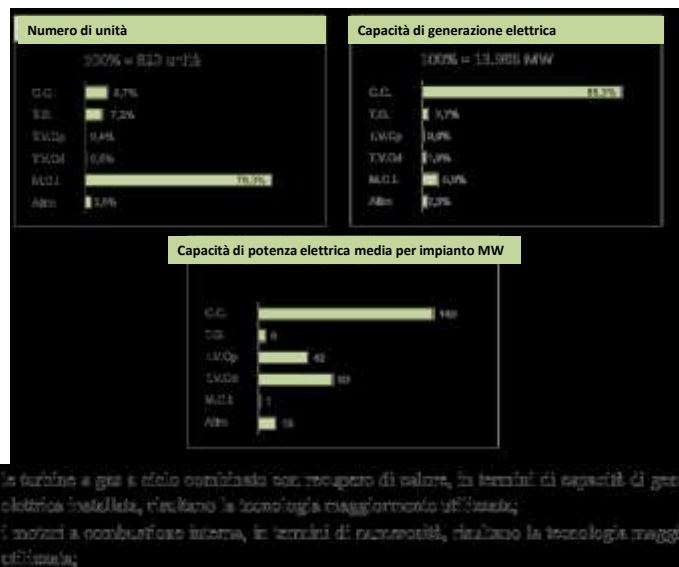
MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Cogenerazione con Impianto a ciclo combinato 1

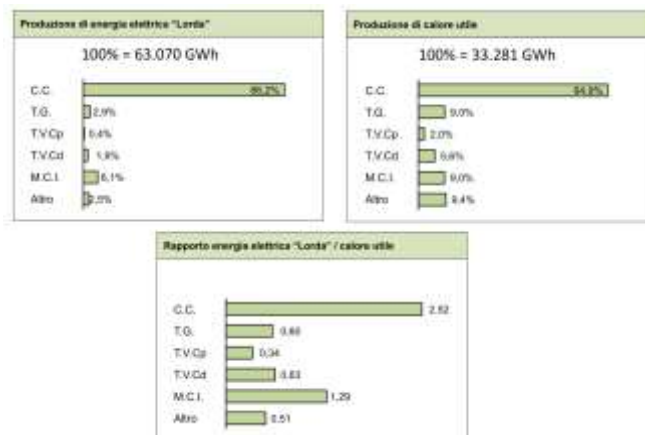
Potenza (MW)	27
4 - 100 per la cogenerazione (Per centrali prevalentemente dedicate alla produzione di energia elettrica la taglia standard varia da 270 a 600 MW)	
Tipo di configurazione	
Ciclo combinato gas-vapore	
Componenti principali	
- Gruppo turbogas - Componenti di impianto a vapore (ad esclusione della caldaia) - HRSR (Heat Recovery Steam Generator)	
Tipo di Combustibile	
I combustibili utilizzabili sono i medesimi degli impianti turbogas a ciclo semplice	
EUF:	
70 - 90 %	
Rendimento elettrico, η_{el}:	
45 - 55%	
Rapporto di cogenerazione, γ:	
0.6 - 2	
Vantaggi	
Elevata efficienza elettrica	
Svantaggi	
- Alti costi di impianto - Necessità di controlli periodici, revisioni e di personale specializzato per il corretto funzionamento dell'impianto	

Relazione annuale sulla cogenerazione in Italia 2012



Relazione annuale sulla cogenerazione in Italia 2012

29



- le turbine a gas a ciclo combinato con recupero di calore, in termini di produzione di energia elettrica e di energia termica utile, risultano la tecnologia maggiormente utilizzata;
- il rapporto energia elettrica lorda/calore utile per le turbine a gas con recupero di calore e per le turbine a vapore in assetto semplice, è significativamente inferiore rispetto alle turbine a gas a ciclo combinato con recupero di calore.



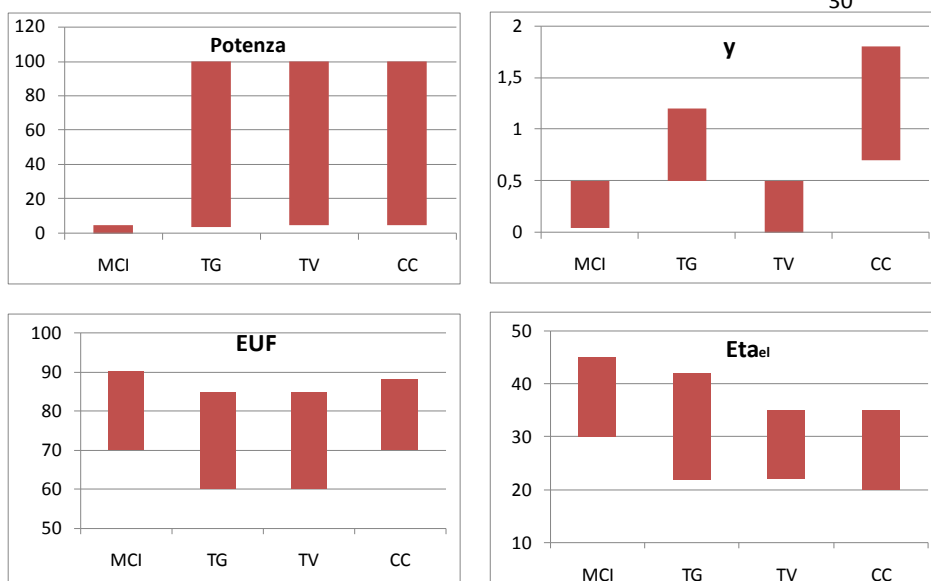
Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Quadro generale

30

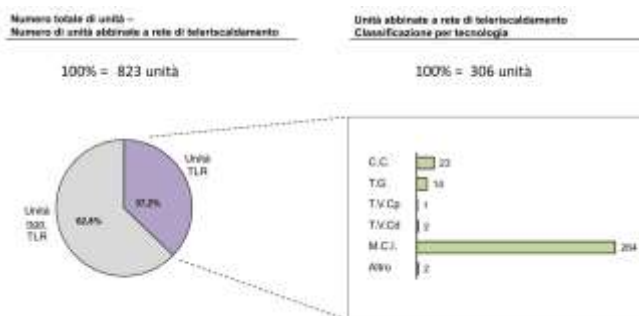


MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Relazione annuale sulla cogenerazione in Italia 2012

31



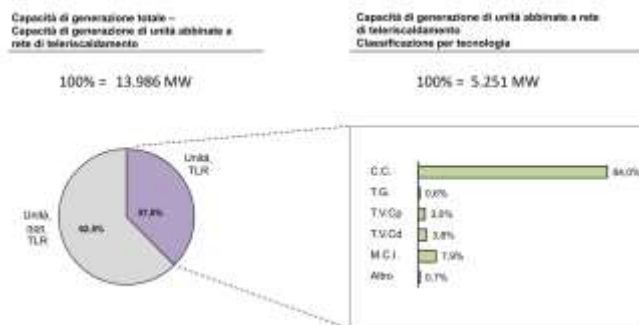
Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Relazione annuale sulla cogenerazione in Italia 2012

32



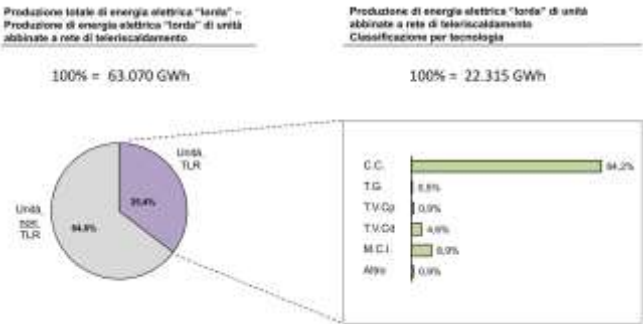
Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Relazione annuale sulla cogenerazione in Italia 2012

33



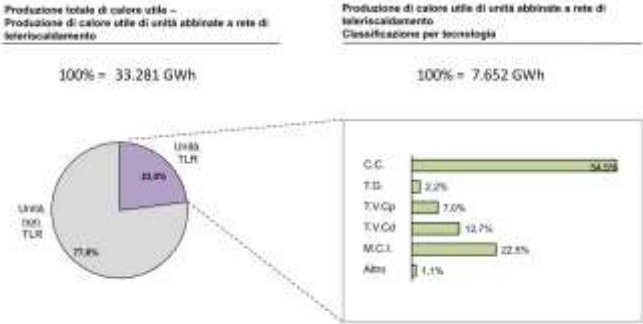
Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Relazione annuale sulla cogenerazione in Italia 2012

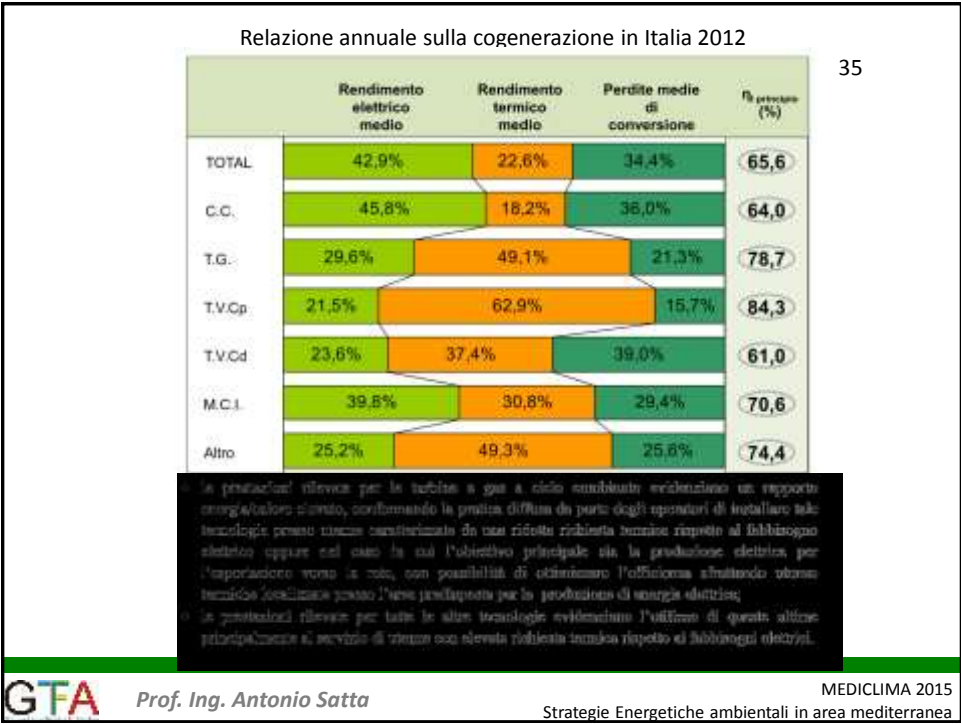
34



Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea





Dipartimento DIME
Università di Genova



Università degli Studi di Genova



AMP srl è una società spin-off che nasce dall'attività di ricerca sviluppata presso il dipartimento DIME dell'Università degli Studi di Genova.

Prof. Antonio Satta
Prof. Giulio Croce
Prof. Pietro Zunino

Dr. Luca Ratto
Dr. Dario Barsi
Dr. Gianluca Ricci

Dr. Carlo Costa
Dr. Renato Gazzano

GTA Prof. Ing. Antonio Satta MEDICLIMA 2015 Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Progetti

37

- Cogenerazione:



- Ecomos



- FluMarTurb



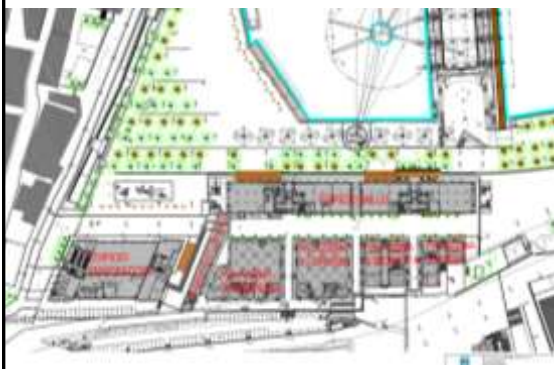
Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Cogenerazione

38



Impianto cogenerativo:

Motore a Gas / Micro Turbina
+
Rete di teleriscaldamento



Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Motore



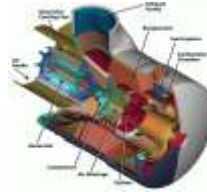
Vantaggi

Elevato rendimento (42%)

Svantaggi

Peso e vibrazioni
Emissioni inquinanti

Microturbina ³⁹



Vantaggi

Peso ridotto e poche vibrazioni
Ridotte emissioni

Svantaggi

Rendimento (35%) -> 42%
previsto con nuova tecnologia



Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Cogenerazione

40

Consumi elettrici

Porto Antico + Acquario:

23 GWh / anno → 4 milioni Euro / anno

Consumi di gas

Porto Antico + Acquario:

300 mila Euro / anno



Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Cogenerazione

41

Ipotesi economiche

Descrizione	Dato
Prezzo di acquisto del gas naturale	0,45 €/Nm ³
Prezzo di acquisto energia elettrica	0,166 €/kWh
Accisa per energia elettrica auto consumata	0,0121 €/kWh
Valore del TEE (certificato bianco)	86,98 €/Tep

Ulteriori ipotesi

Rendimento elettrico:	43%
Costo dell'energia termica:	0,088 €/kWh
Costo dell'energia elettrica:	0,166 €/kWh;
Rendimento caldaie esistenti:	90%;
COP chiller esistenti:	2,8;

Autoproduzione di energia elettrica

Descrizione	Dato	Costo unitario	Costi/Risparmi [€/anno]
Consumo gas naturale [Nm ³ /anno]	3'766'248	0.450	-1'694'812
Potenza elettrica autoconsumata [kWh]	15'778'800	0.166	+2'619'281
Accise energia elettrica autoconsumata [kWh]	15'778'800	0.0121	-190'923
Totale			+733'546

La sola autoproduzione di energia elettrica porta ad un risparmio di 700 k€ / anno



Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

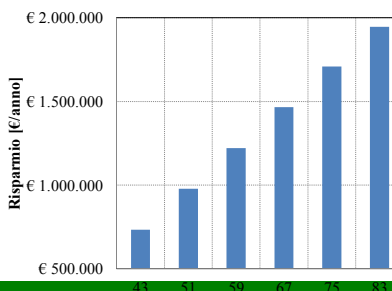
Teleriscaldamento

42

Risultato economico nel caso di vendita dell'energia termica prodotta, sia caldo sia freddo

Descrizione	Consumo Gas Naturale [€/anno]	Risparmio Energia elettrica [€/anno]	Accise per cogenerazione [€/anno]	Certificati Bianchi [€/anno]	Risparmio energia termica [€/anno]	Risparmio totale [€/anno]
Generazione di potenza	-1'694'812	+2'619'281	-190'923	0	0	+733'546
Trigenerazione 60%	-1'694'812	+2'619'281	-190'923	+83'886	+434'416	+1'251'848
Trigenerazione 70%	-1'694'812	+2'619'281	-190'923	+133'231	+689'956	+1'556'733
Trigenerazione 80%	-1'694'812	+2'619'281	-190'923	+177'728	+945'495	+1'856'769

Nel caso di installazione di una rete di teleriscaldamento, la vendita dell'energia termica produce gli introiti rappresentati nel grafico.



Prof. Ing. Antonio Satta

Rendimento globale [%]MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea



Impianti propulsori navali a ciclo combinato

Verifica di un impianto



Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Schema costruttivo impianto propulsore COGES

- 2 TG GE LM2500+ da 25 MW
- 1 TV da 8 MW
- 1 Diesel da 3 MW
- 2 HRSG



Celebrity Cruises Millennium Class



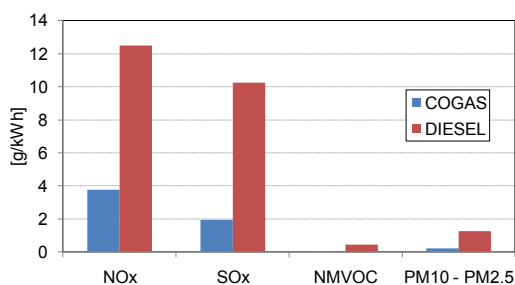
MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Risultati

45

	Massima potenza	Crociera
Potenza impianto	65000 kW	30000 kW
Rendimento impianto	42%	39%
Rendimento globale	45%	44%
Consumo specifico di combustibile	191 g/kWh	193 g/kWh



Ottimizzazione termo-economica

46



Propulsori navali a ciclo combinato
Ottimizzazione termo-economica

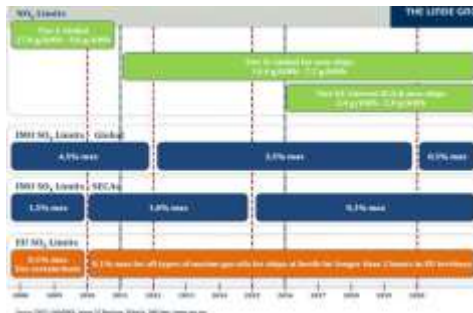
Progetto della turbina a vapore

Gruppi combinati per la propulsione navale

47

Ricerca di alternative agli apparati Diesel convenzionali dettata da:

- **Controllo serrato delle emissioni** : nuove normative (IMO) volte alla progressiva eliminazione degli odierni combustibili ad alto contenuto di SOx e NOx



- **Necessità di elevate prestazioni e potenze** : maggiore rapidità nel raggiungimento della velocità di crociera e elevata velocità di trasporto
- **Riduzione ingombri** : strutture propulsive e ausiliarie raccolte in spazi limitati e conseguente maggiore capacità di stiva



Prof. Ing. Antonio Satta

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Gruppi combinati per la propulsione navale

48

Quadro normativo

- IMO (International Maritime Organization) :
Restrizioni sul tenore di SOx e NOx nei combustibili nelle Emission Control Areas (ECA)

Penalizzazione dell'*Heavy Fuel Oil* ,
carburante più diffuso in applicazioni diesel.

ECA: 2015

Resto del mondo: 2020

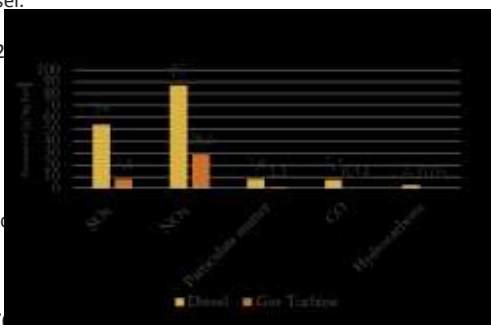
Livellamento del prezzo del combustibile
a seguito delle sanzioni previste



Apertura a nuove soluzioni alternative al ciclo diesel



Ciclo combinato gas-vapore

MEDICLIMA 2015
Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Gruppi combinati per la propulsione navale

Soluzione: ciclo combinato gas-vapore COGES

49

Applicazioni attuali

- Navi da crociera 60 MW– 8 in navigazione
- Metaniere (LNG carriers) 50 MW – in costruzione
- Portacontainer – in sviluppo

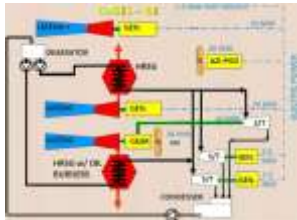
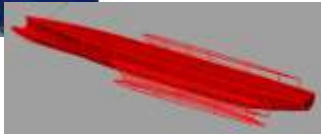
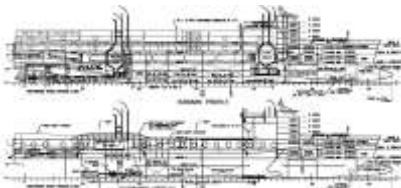
All-electric:

- Razionalizzazione degli spazi
- Ottima gestione della potenza generata

↓

Progetto **High Speed Trimaran Trailership**

- Potenza installata: 81MW
- Trasporto rapido: fino a 29 nodi



GTA

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

Gruppi combinati per la propulsione navale

50

Impianto proposto: superstruttura e codici

- Impianto a condensazione
- Due combustibili considerati: Marine Gas Oil (MGO)

Liquified Natural Gas (LNG)
- TG: 2 x GE LM2500

Programma di simulazione **GateCycle** : viene progettata una superstruttura che, mediante variabili logiche, permetta di esaminare le diverse configurazioni di impianto possibili:

- 1 - 2 caldaie a recupero
- 1 - 2 livelli di pressione
- 1 - 2 turbine a vapore

Codice di ottimizzazione **modeFRONTIER** : permette l'interfaccia-mento tra i differenti applicativi.

Variabili di ottimizzazione: - pressioni operative

- superstruttura
- sezione di scarico turbine
- ΔT caldaie

per un totale di 13 parametri variabili nella ricerca dell'ottimo.

Funzioni obiettivo

- Max Eff – ott. termodinamica
- Min LCOE – ott. termoeconomica
(LCOE = Levelized Cost of Electricity, indice di bontà economica)

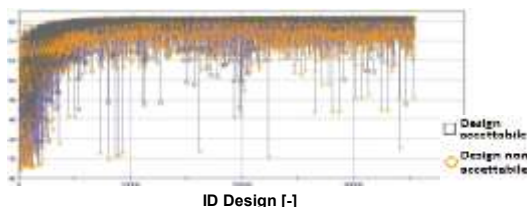
Gruppi combinati per la propulsione navale

51

Risultati dell'ottimizzazione

• ANALISI TERMODINAMICAFunzione obiettivo: **Max Eff**

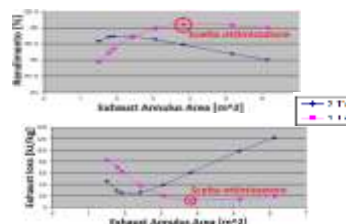
SPHT HP [°C]	42.6	[°C]
SPHT LP [°C]	10	[°C]
EVA HP [°C]	2	[°C]
EVA LP [°C]	2	[°C]
ECO HP [°C]	2	[°C]
ECO LP [°C]	2.22	[°C]
P HP [bar]	89.9	[bar]
P LP [bar]	7.7	[bar]
P DEG [bar]	5	[bar]
SType [°]	6	[°]
NO_HRSG [-]	1	[-]
NO_Plevels [2]	2	[-]
NO_TV [1]	1	[-]



	η [%]	PTOT [MW]	PST [MW]	PGT [MW]	Ex Loss [kJ/kg]
ut	56.5	81.5	26.4	55.1	12.1

- Pressioni operative :
HP = 89.9 [bar]
LP = 7.7 [bar]
- Numero turbine a vapore (TV) : 1
- ID geometria di scarico turbina : 6

- Caratteristiche geometria 6 :
Sezione di scarico (Exhaust Annulus Area) = 3.82 [m²]
- Lunghezza dell'ultima palettatura = 660 [mm]



GTA

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea

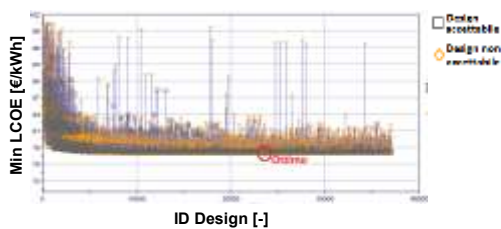
Gruppi combinati per la propulsione navale

52

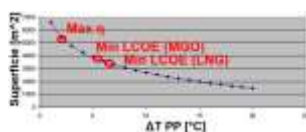
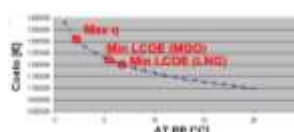
Risultati dell'ottimizzazione

• ANALISI TERMO-ECONOMICAFunzione obiettivo: **Min LCOE**

SPHT HP [°C]	39.8	42.6
SPHT LP [°C]	33.9	17
EVA HP [°C]	6.2	2.6
EVA LP [°C]	6.5	3.4
ECO HP [°C]	2.1	2
ECO LP [°C]	2	2
P HP [bar]	70	65.7
P LP [bar]	6.8	7.1
P DEG [bar]	5	5
SType [°]	6	6
NO_HRSG [-]	2	2
NO_Plevels [-]	2	2
NO_TV [-]	1	1



	PTOT [MW]	PST [MW]	PGT [MW]	Ex Loss [kJ/kg]
LNG	50.3	76.7	25.7	54
MGO	56.5	81.3	26.3	55

Caratteristiche riferite
al componente HRSG

GTA

MEDICLIMA 2015

Strategie Energetiche ambientali in area mediterranea