

**Scuola di Dottorato in Scienze e tecnologie per l'innovazione industriale
Dottorato di ricerca in Energia e Ambiente
XXXIII Ciclo**

Dottoranda: Dr.ssa Samr Al Aflak



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Tesi finale

Scuola di Dottorato in Scienze e tecnologie per l'innovazione industriale

**Dottorato di ricerca in Energia e Ambiente
XXXIII Ciclo**

Tutor: Prof. Massimo Frullini

Un indicatore di sostenibilità ambientale integrato con metodi di supporto decisionale multicriterio

Dottoranda: Dr.ssa Samr Al Aflak

Tutor: Prof. Massimo Frullini

28.11.2018 COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE EUROPEA AL PARLAMENTO EUROPEO - Un pianeta pulito per tutti. Visione strategica europea a lungo termine per un'economia prospera, moderna, competitiva e climaticamente neutra. COM/2018/773.

- Il **cambiamento climatico** e l'**inquinamento dell'aria** destano **seria preoccupazione** tra i cittadini europei .
- L'impatto del riscaldamento del pianeta sta aumentando la frequenza e l'intensità dei fenomeni meteorologici estremi:
 - negli ultimi **5 anni** l'Europa ha registrato **4 ONDATE DI CALDO ECCEZIONALI**, nell'estate 2017 la **temperatura atmosferica** al circolo polare artico superava di **5 °C il suo valore medio**;
 - fenomeni estremi come: **siccità, incendi boschivi, piene improvvise con alluvioni, tifoni e uragani** sono causa di devastazioni con **perdita di vite umane** e **valori economici** (2017 - Tempesta Ophelia primo uragano in **Irlanda**, 2018 - Tempesta Leslie ha devastato regioni del **Portogallo** e della **Spagna**) .
- In Europa, il **CAMBIAMENTO DEL CLIMA** e **L'AUMENTO DELL'INQUINAMENTO DELL'ARIA** avrebbero gravi conseguenze su: **produttività economica, infrastrutture, capacità di produrre cibo, salute pubblica, biodiversità e stabilità socio-politica.**
- Nel **2017** le catastrofi legate alle condizioni meteorologiche hanno causato danni economici per la cifra record di **283 miliardi di euro** ed entro il **2100** potrebbero colpire circa il **75% della popolazione europea**, rispetto all'attuale **5%**.
- Stime attendibili, realizzate da Centri di Ricerca e Università Europee indicano che nello stesso periodo:
 - i danni annuali causati dalle alluvioni passerebbero da (**5 miliardi €**) a (**112 miliardi €**);
 - il **16 %** dell'attuale zona climatica del **Mediterraneo** potrebbe divenire **arida**;
 - la disponibilità di alimenti diminuirebbe soprattutto nei **paesi del bacino del mediterraneo (Italia, Spagna e Grecia).**

- Preso atto delle **conoscenze scientifiche** maturate in quest'ambito, l'UE riconosce che i mutamenti climatici sono da **attribuire alle emissioni dei gas serra (effetti globali)** nei settori **energetici, trasporti, civile, industriali e produttivi**.
- Dimostrato che la **PROGRESSIVA RIDUZIONE** degli inquinanti globali e locali è **DISSOCIATA** dalla crescita economica (**1990-2016 - Consumo di energia -2% - Emissioni gas serra -22%, PIL +54%**) occorre **FISSARE NUOVI OBIETTIVI DI RIDUZIONE A MEDIO/LUNGO TERMINE DEGLI INQUINANTI SERRA E DEGLI INQUINANTI ATMOSFERICI AD EFFETTO LOCALE/REGIONALE**
- **L'Unione Europea fissa degli obiettivi in materia di riduzione di agenti clima-alteranti e di inquinanti atmosferici, pari alla riduzione di almeno il 40% delle emissioni collettive di gas serra entro il 2030 rispetto al 1990 (OBIETTIVO A MEDIO TERMINE) fino al 60% rispetto al 1990 entro il 2050 (OBIETTIVO A LUNGO TERMINE).**
- La legge europea sul clima (**Green Deal**), attualmente in fase di definizione, prevede nuovi obiettivi che aumentano la riduzione collettiva di gas serra al **55% entro il 2030 rispetto alle emissioni del 1990**.
- In attesa dell'attuazione del Green Deal, l'obiettivo di riduzione per l'Italia al 2020 era stato stabilito dalla *Decision Effort Sharing* (406/2009) pari a -13% rispetto alle emissioni di gas serra del 2005. Dal 2016 la Commissione (Regol. *Effort Sharing*) sta negoziando gli obiettivi di riduzione dei gas serra al 2030 e al 2050 per l'Italia (**-33% 2005-2030, -45% 2005-2050**).
- Questo sforzo dovrà prevedere: **SOLUZIONI TECNOLOGICHE A MAGGIORE EFFICIENZA ENERGETICA, AUMENTO DELLA QUOTA DI UTILIZZO DI ENERGIE RINNOVABILI, DIFFUSA ADOZIONE DELLE BAT (BEST AVAILABLE TECHNOLOGIES) PER RIDURRE O NEUTRALIZZARE LE EMISSIONI DI GAS SERRA E DI INQUINANTI ATMOSFERICI**, in tutti i settori industriali.

- Per le caratteristiche di multidimensionalità delle azioni da mettere in atto e per la natura delle problematiche tecnico-scientifiche si raccomanda il **DECISORE** di dotarsi di **STRUMENTI ANALITICI** in grado di **PIANIFICARE E MONITORARE GLI INTERVENTI NEI DIVERSI SETTORI INDUSTRIALI** adottando semplici e efficaci **INDICATORI DI SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE**.
- **MISURARE L'EFFICACIA DELLE STRATEGIE DI RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI INQUINANTI INDUSTRIALI E' UNA ATTIVITA' ANALITICA IN REGIME DI INCERTEZZA E I PRINCIPALI ELEMENTI D'INCERTEZZA SONO:**
 - i dati (di base) sulle emissioni degli inquinanti sono indicativi e stimati sulla base di parametri (i **fattori di emissione**) e algoritmi che ogni anno vengono rivisitati per allinearli con nuovi modelli di simulazione derivati dall'affinamento dei giudizi degli esperti di settore;
 - l'impatto globale dei diversi gas serra si valuta con relazioni di equivalenza (**GWP - Global Warming Potential**) che riconducono il potenziale di riscaldamento del singolo gas a quello della CO2 equivalente. Questi valori, anche diversi tra loro, dipendono dall'intervallo di tempo sul quale si vogliono proiettare le simulazioni (20 anni – 100 anni)
 - non esiste una sostanza (**equivalente**) che rappresenta la combinazione degli effetti delle sostanze responsabili dell'impatto locale
 - la definizione di obiettivi di lunga durata presuppone la stabilità del contesto tecnico-economico di riferimento che consente di ragionare sugli effetti dei regimi altrettanto stabili delle azioni di riduzione
- **RISULTA NECESSARIO DEFINIRE UN INDICATORE DI SOSTENIBILITA' AMBIENTALE CHE CONSENTA AL DECISORE DI MISURARE L'EFFICACIA DELLE AZIONI DI RIDUZIONE DEGLI INQUINANTI GLOBALI E LOCALI CON PREFISSATI OBIETTIVI A MEDIO\LUNGO TERMINE E INTEGRARLO CON SUPPORTI DECISIONALI CHE CONSIDERINO LE INCERTEZZE SISTEMICHE**

SELEZIONE DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI E DEI PRINCIPALI SETTORI INDUSTRIALI COINVOLTI



ASSOCIAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI IMPATTO PREVALENTE (GLOBALE O LOCALE) AGLI INQUINANTI



SELEZIONE DI UN METODO DI SUPPORTO DECISIONALE CHE CONSENTA DI VALUTARE:
a) L'IMPORTANZA DEGLI INQUINANTI SULL'IMPATTO GLOBALE O LOCALE (IN PARTICOLARE LOCALE)
b) L'EFFICACIA DI STRATEGIE ALTERNATIVE DI RIDUZIONE DELLE EMISSIONI IN DIVERSI SETTORI INDUSTRIALI



DEFINIZIONE DI UN INDICATORE (DESCRITTIVO/PREDITTIVO) PER STIMARE L'EFFICACIA DELLE PROGRESSIVE AZIONI DI RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DEGLI INQUINANTI IN FUNZIONE DELLE ALTERNATIVE STRATEGICHE IPOTIZZATE



TEST	CAPACITA' DESCRITTIVA DEL MODELLO D'INDICATORE PROPOSTO	ITALIA PERIODO (1990-2018)
-------------	--	-----------------------------------



TEST	CAPACITA' PREDITTIVA DEL MODELLO DELL'INDICATORE PROPOSTO	ITALIA PERIODO (2020-2050)
-------------	--	-----------------------------------



POTENZIALI MIGLIORAMENTI E SVILUPPI SUCCESSIVI DELL'INDICATORE PROPOSTO

- Nella Tabella 1 sono elencate le principali sostanze inquinanti dell'atmosfera emesse da processi energetici e industriali e ritenute responsabili di impatti ambientali **GLOBALI (effetto serra)** e/o **LOCALI (squilibri meteo e alterazione della qualità dell'aria)** con il giudizio di prevalenza dell'impatto attivato.

Tabella 1

SOSTANZA EMESSA	SIGLA	IMPATTO PREVALENTE
Anidride Carbonica (CO ₂)	CO2	GAIOALE >> LOCALE
Protossido di Azoto (N ₂ O)	N2O	GAIOALE >> LOCALE
Metano (CH ₄)	CH4	GAIOALE >> LOCALE
Sostanze acidificanti l'atmosfera (ACI) <ul style="list-style-type: none"> Ossidi di Zolfo (SO_x) Ossido di Azoto (NO) Ammoniaca (NH₃) 	ACI	LOCALE > GAIOALE
Sostanze alteranti l'ozono troposferico <ul style="list-style-type: none"> Ossidi di Azoto (NO_x) Composti organici volatili non metanici (COVNM) 	AOZ	LOCALE > GAIOALE
Particolato PM10	PAR	LOCALE >> GAIOALE
Monossido di Carbonio (CO)	CO	LOCALE >> GAIOALE
Metalli pesanti (MEP)	MEP	LOCALE >> GAIOALE
Benzene	BEN	LOCALE >> GAIOALE

- Nella Tabella 2 sono elencati i settori industriali che utilizzano processi di produzione e/o lavorazioni che comportano l'emissione di quantità significative degli inquinanti mostrati nella Tabella 1.

Tabella 2

SETTORE INDUSTRIALE/ECONOMICO	SIGLA
Industrie conversione di energia (Processi di combustione)	CEN
Impianti industriali (Processi di combustione)	CIN
Trasporti (Processi di combustione)	TRA
Civile (Processi di combustione)	CIV
Impianti industriali (Lavorazioni)	IND
Agricoltura (Lavorazioni)	AGR
Rifiuti (Trattamenti e termovalorizzazione)	RIF

- L'analisi multicriterio a supporto decisionale (Multi Criteria Decision Analysis, MCDA) è una disciplina orientata a supportare il decisore qualora si trovi a operare in regime di INCERTEZZA con valutazioni numerose, conflittuali, multi-parametriche, e spesso affidate al **SOLO GIUDIZIO ELICITATO DI ESPERTI (caso molto frequente nell'attribuzione delle caratteristiche GLOBALI o LOCALI di un impatto)**
- Le MCDA supportano il decisore nella fase di organizzazione e sintesi di informazioni complesse e spesso di natura eterogenea permettendo di analizzare e valutare diverse alternative, monitorando l'efficacia del raggiungimento dei differenti obiettivi del processo decisionale.
- Alcuni dei metodi MCDA più utilizzati in campo economico e tecnico-scientifico sono:
 - Multi-Attribute Global Inference of Quality (MAGIQ).
 - Goal Programming.
 - ELECTRE (Outranking).
 - **Analytical Hierarchy Process (AHP).**
 - PROMETHÉE (Outranking).
 - The Evidential Reasoning Approach.
 - Dominance-based Rough Set Approach (DRSA).
- La metodologia ritenuta più adatta e selezionata per gli scopi della ricerca è la **AHP** (*), generalmente caratterizzata dalla possibilità di attribuire delle importanze ad una serie di alternative decisionali, mettendo in relazione valutazioni di tipo qualitativo e quantitativo, altrimenti non direttamente confrontabili, e combinando scale multidimensionali di misure in una singola scala di importanza.

(*) T.L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York 1980

J.R. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott, *Multiple Criteria Decision Analysis, State of the Art Surveys* 2005

- Il metodo si basa su una serie di confronti (esaustivi e mutuamente esclusivi) a coppie tra i parametri (**INQUINANTI**) attribuendo ad essi (da una scala corrispondente predefinita) un **valore numerico** che relaziona i due parametri rispetto al criterio analizzato al fine di costruire la così detta **MATRICE AHP DEI PARAMETRI**.
- La **MATRICE AHP** viene risolta analiticamente utilizzando l'algoritmo di **Saaty** che calcola il peso percentuale per ogni parametro fornendo il **VETTORE AHP PESO** o IMPORTANZA RELATIVA di quel parametro rispetto al criterio. Il metodo è autoconsistente per cui la somma di tutti i pesi è pari al 100% (o ad 1 in un processo di normalizzazione all'unità).
- In Tab. 3 è mostrata la scala dei valori del confronto per ogni coppia di parametri (**i e j**) **comparati rispetto al criterio**.

Tabella 3

PARAMETRO	Interpretazione del confronto	PARAMETRO	VALORE CONFRONTO
i	ugualmente importante di	j	1
i	poco più importante di	j	3
i	abbastanza più importante di	j	5
i	decisamente più importante di	j	7
i	assolutamente più importante di	j	9
j	poco meno importante di	i	1/3
j	abbastanza meno importante di	i	1/5
j	decisamente meno importante di	i	1/7
j	assolutamente meno importante di	i	1/9

**SIMMETRIA
COMPARATIVA
VOTO/GIUDIZIO**



- Nel caso sia necessaria maggior precisione rappresentativa dei giudizi, si possono assegnare anche valori intermedi di quelli standard (2, 4, 6, 8, 1/2, 1/4, 1/6, 1/8) compresi tra 1-9.

- Una volta terminata la fase di assegnazione dei valori ai confronti possibili tra coppie di parametri si riportano detti valori nella **MATRICE AHP DEI PARAMETRI** nella quale la diagonale principale è SEMPRE costituita da valori = 1 (il parametro è confrontato con se stesso).

E
S
E
M
P
I
O

3 PAR

CONFRONTO PER COPPIE

VALORI CONFRONTO

MATRICE AHP PARAMETRI

COMPLETAMENTO

- PAR 1 abbastanza più importante di PAR 2
- PAR 1 assolutamente più importante di PAR 3
- PAR 2 poco più importante di PAR 3

- $1 \rightarrow 2$ (5)
- $1 \rightarrow 3$ (9)
- $2 \rightarrow 3$ (3)

	PAR. 1	PAR. 2	PAR. 3
PAR. 1	1	5	9
PAR. 2	1/5	1	3
PAR. 3	1/9	1/3	1

SIMMETRIA
COMPARATIVA
VOTO/GIUDIZIO

- La **MATRICE AHP** completa dei parametri **viene sottoposta all'applicazione dell'algoritmo di Saaty** che fornisce il **VETTORE AHP** dei pesi dei diversi parametri rispetto al criterio analizzato normalizzati all'unità.
- L'**algoritmo di Saaty** fornisce anche un indicatore (**CI=Consistency Index**), che misura la coerenza comparativa dei giudizi per il quale è fissato un valore limite di 0,1 al di sotto del quale la **matrice AHP** è considerata **consistente** e **coerente** (molto utile all'aumentare del numero dei parametri)

E
S
E
M
P
I
O

VETTORE AHP PESI PARAMETRI

CI (Consistency Index)

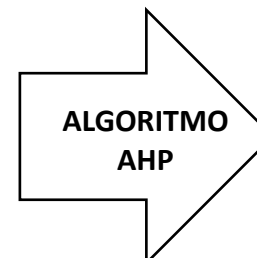
PAR. 1	0,7514
PAR. 2	0,1781
PAR. 3	0,0705
SOMMA	1

CI = 0,0145

**CONSISTENTE
E COERENTE**

MATRICE AHP COMPARATIVA EFFETTI LOCALI DEGLI INQUINANTI LOCALI

LOC	ACI	PAR	AOZ	CO	MPE	BEN
ACI	1	2	3	4	5	6
PAR	0,5	1	2	3	4	5
AOZ	0,333333	0,5	1	2	3	4
CO	0,25	0,333333	0,5	1	2	3
MPE	0,2	0,25	0,333333	0,5	1	2
BEN	0,166667	0,2	0,25	0,333333	0,5	1

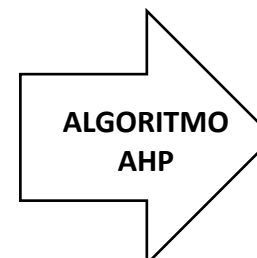


VETTORE AHP IMPORTANZE INQUINANTI LOCALI

	LOC
ACI	0,3806
PAR	0,2516
AOZ	0,1602
CO	0,1009
MPE	0,0643
BEN	0,0425
Tot	1,000
CI	0,01973

MATRICE AHP STRATEGIA RIDUZIONI CON PRIORITA' SETTORE ENERGETICO

ENE	CEN	CIN	TRA	CIV	IND	AGR	RIF
CEN	1	2	3	4	5	6	7
CIN	0,5	1	2	3	4	5	6
TRA	0,3333	0,5	1	2	3	4	5
CIV	0,25	0,3333	0,5	1	2	3	4
IND	0,2	0,25	0,3333	0,5	1	1	1
AGR	0,1667	0,2	0,25	0,3333	1	1	1
RIF	0,1429	0,1667	0,2	0,25	1	1	1

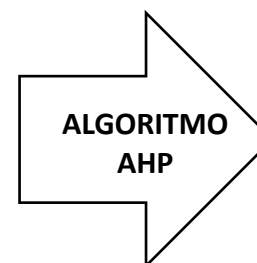


VETTORE AHP STRATEGIA PRIORITA' SETTORE ENERGETICO

	ENE
CEN	0,3539
CIN	0,2427
TRA	0,1606
CIV	0,1047
IND	0,0528
AGR	0,0452
RIF	0,0400
Tot	1,0000
CI	0,02639

MATRICE AHP STRATEGIA RIDUZIONI CON PRIORITA' SETTORE PRODUTTIVO

PRO	IND	AGR	RIF	ENE	CIN	AGR	RIF
IND	1	2	3	4	5	6	7
AGR	0,5	1	2	3	4	5	6
RIF	0,3333	0,5	1	2	3	4	5
CEN	0,25	0,3333	0,5	1	1	1	1
CIN	0,2	0,25	0,3333	1	1	1	1
TRA	0,1667	0,2	0,25	1	1	1	1
CIV	0,1429	0,1667	0,2	1	1	1	1



VETTORE AHP STRATEGIA PRIORITA' SETTORE PRODUTTIVO

	PRO
CEN	0,0676
CIN	0,0593
TRA	0,0537
CIV	0,0496
IND	0,3598
AGR	0,2468
RIF	0,1633
Tot	1,0000
CI	0,02387

- L'indicatore valuta l'efficacia di una **strategia di progressiva riduzione** di inquinanti rispetto ad un **prefissato obiettivo finale riferito ad una data iniziale** da raggiungere in un definito **orizzonte temporale (INDICATORE DI TREND STRATEGICO VERSO UN OBIETTIVO)** che esprima la concomitante azione sulle componenti **GLOBALE** e **LOCALE** dell'impatto.
- L'indicatore d'impatto (o di sostenibilità) considera l'impatto **LEGATO ALLA QUANTITA' DI SOSTANZA INQUINANTE EMESSA** e ha **2 DIMENSIONI** o **COMPONENTI** (vd. Tabella 1) :
 - **COMPONENTE GLOBALE (G) = QUANTITA' DI GAS SERRA Equivalente Emesso** (annualmente) calcolata utilizzando il criterio del **GWP (Global Warming Potential)** alle quantità dei singoli inquinanti a effetto SERRA (**CO₂, N₂O, CH₄**).
 - **COMPONENTE LOCALE (L) = QUANTITA' DI INQUINANTE LOCALE Equivalente Emesso** (annualmente) calcolata applicando una **RIPARTIZIONE D'IMPORTANZA AHP** alle quantità delle emissioni degli inquinanti che lo costituiscono ottenuta da un **algoritmo AHP** applicato ad una **MATRICE AHP D'IMPATTO LOCALE** dei costituenti.
- 1) Sono note: la **variazione obiettivo ($\Delta G_{OBI}, \Delta L_{OBI}$)**, l'anno iniziale, il valore delle componenti iniziale e l'arco di tempo.
- 2) Si ipotizza una **quota di variazione annua** per i costituenti le componenti (G,L) e una **strategia sui settori industriali**.
- 3) **Ripartendo la quota annua di variazione alle quantità emesse dei costituenti (GLOBALI e LOCALI) secondo i criteri di priorità espressi dal vettore AHP STRATEGIE**, si calcolano le **variazioni annuali delle due componenti equivalenti (G,L)**.
- 4) Si calcola, per ogni anno, la **quota delle variazioni obiettivo conquistata e normalizzata all'unità**.
- Per generalizzare le analisi l'indicatore è calcolato considerando **VARIAZIONI ANNUALI IN DIMINUZIONE (POSITIVE)**, **VARIAZIONI ANNUALI IN AUMENTO (NEGATIVE)** MENTRE LA **VARIAZIONE COMPLESSIVA DELL'OBIETTIVO E' DA RITENERSI IN DIMINUZIONE (POSITIVA)**

- Poiché l'indicatore è costituito da variazioni delle quantità emesse anno dopo anno, si svincola dalle diverse unità di misura delle quantità rappresentative delle due componenti e nel suo insieme descrive la traiettoria di **AVVICINAMENTO** alla variazione delle componenti (**GLOBALE e LOCALE**) prevista dall'obiettivo.
- L'indicatore si può rappresentare su di uno specifico (**PIANO DEGLI IMPATTI**) dove si può studiare in modo **semplice, immediato ed intuitivo** l'efficacia delle strategie alternative nel tempo o con il corrispondente (**GRAFICO DELL'INDICATORE**)



PIANO DEGLI IMPATTI

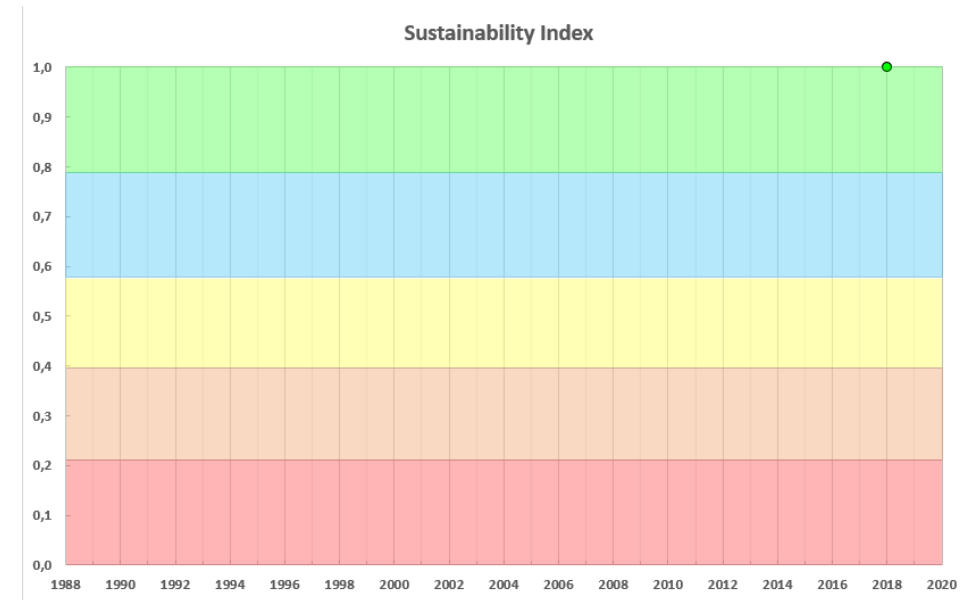
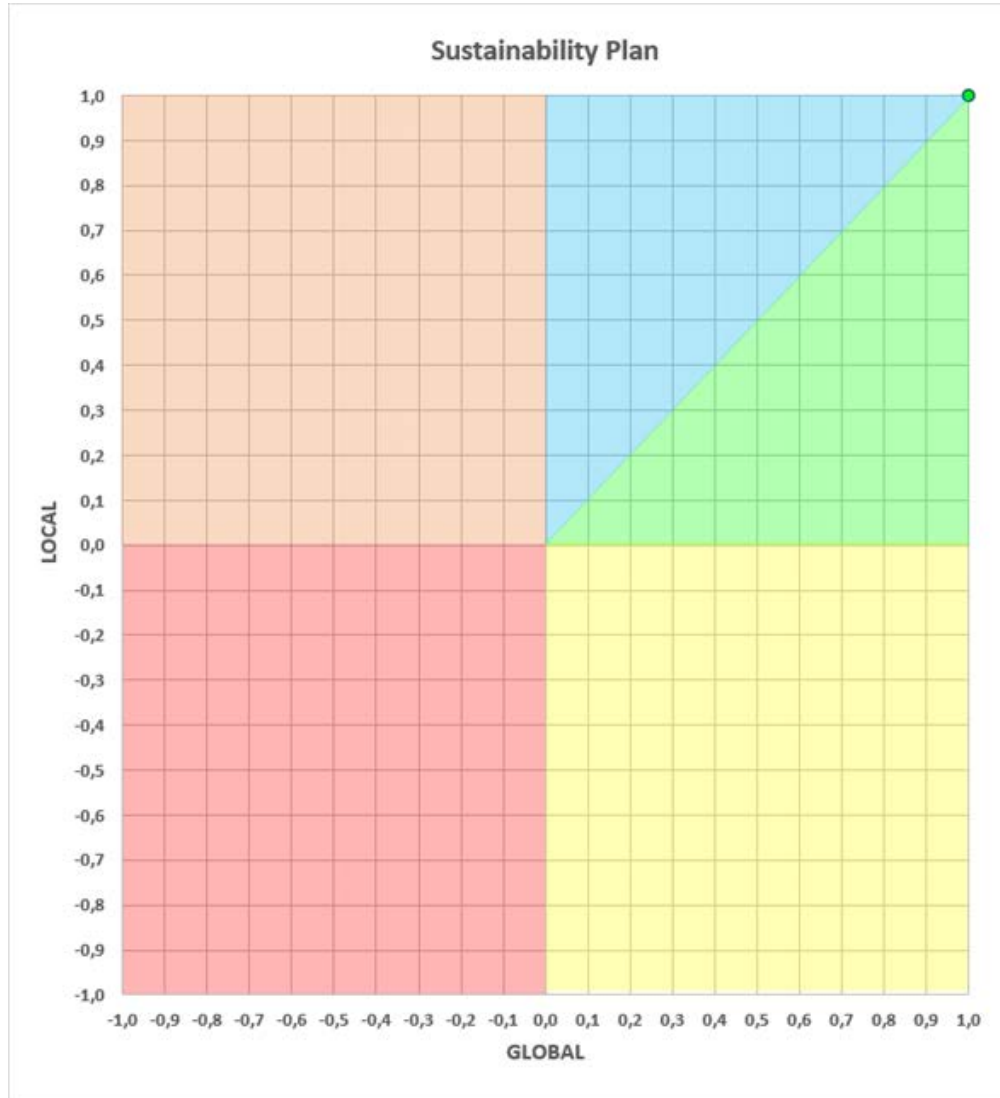
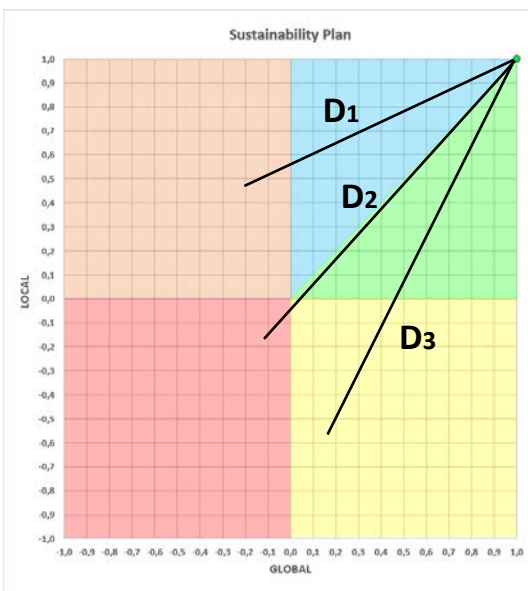


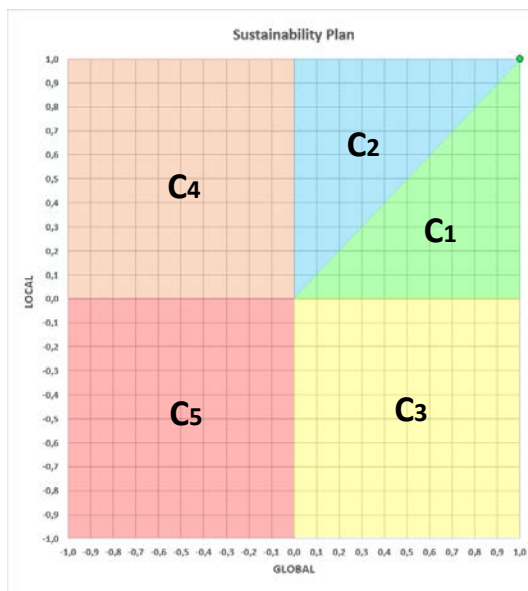
GRAFICO DELL'INDICATORE



- Nel **PIANO DEGLI IMPATTI** l'origine (0,0) rappresenta la situazione nell'anno ZERO o anno di riferimento iniziale del periodo di osservazione (rispetto al quale si valutano le variazioni degli impatti), mentre il punto finale (GOAL) è posizionato nel punto (1,1) che corrisponde al raggiungimento del 100% degli obiettivi di riduzione previsti, rispetto all'anno iniziale di riferimento, per le due componenti (GLOBALE e LOCALE).
- Lo svolgersi, anno per anno, delle azioni strategiche è rappresentato da una curva (spezzata) che da l'idea dei progressi/regressi del tendere all'obiettivo finale nel PUNTO VERDE in P(1,1).
- Per conferire all'indicatore maggiore efficacia rappresentativa, il piano consente di poter rappresentare anche trend di ALLONTANAMENTO (caso utile nella pianificazione degli interventi in paesi in via di sviluppo dove è prevedibile un'iniziale fase di AUMENTO delle emissioni di inquinanti globali e locali).



- Ogni punto **P(G,L)** della curva spezzata che descrive l'evoluzione delle variazioni delle due componenti (**GLOBALE, LOCALE**) rispetto a quello obiettivo, identifica una distanza geometrica **D=D(G,L)** dall'obiettivo **P(1,1)**.
- Minore è **D** e più si è vicini all'obiettivo finale con **D = 0** ad obiettivo raggiunto.
- Poiché le variazioni % annuali calcolate in diminuzione sono positive e quelle in aumento sono negative, il piano si può pensare diviso in **5 ZONE (CON EVIDENTE SIGNIFICATO DEI COLORI ASSOCIATI)** alle quali vengono assegnati i valori **C1,C2,C3,C4,C5** secondo il criterio riportato nella Tabella 4 e che assumono particolari valori opportunamente calcolati per la normalizzazione da 0 a 1 dell'indicatore associato.



C		IMPATTO GLOBALE	IMPATTO LOCALE	RELAZIONE TRA VARIAZIONI	COMMENTO
C1	0	DIMINUIZIONE	DIMINUIZIONE	GLOBALE > LOCALE	VERY GOOD
C2	1,4142	DIMINUIZIONE	DIMINUIZIONE	LOCALE > GLOBALE	GOOD
C3	1,828	DIMINUIZIONE	AUMENTO		NOT GOOD
C4	3,064	AUMENTO	DIMINUIZIONE		BAD
C5	3,886	AUMENTO	AUMENTO		VERY BAD

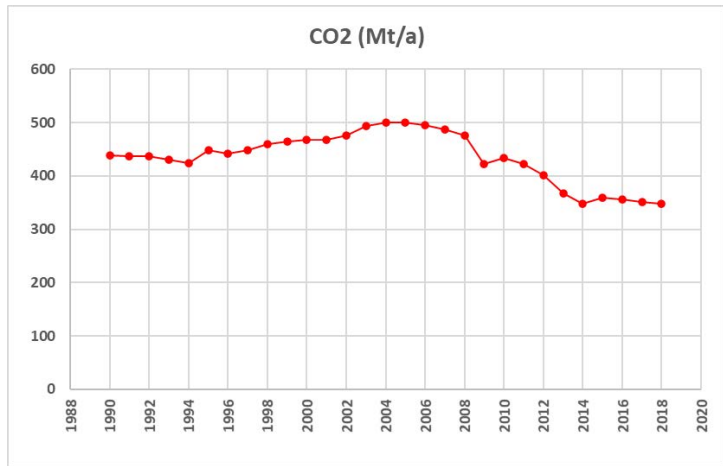
Tabella 4

- Per ogni punto della curva (anno) l'INDICATORE vale:

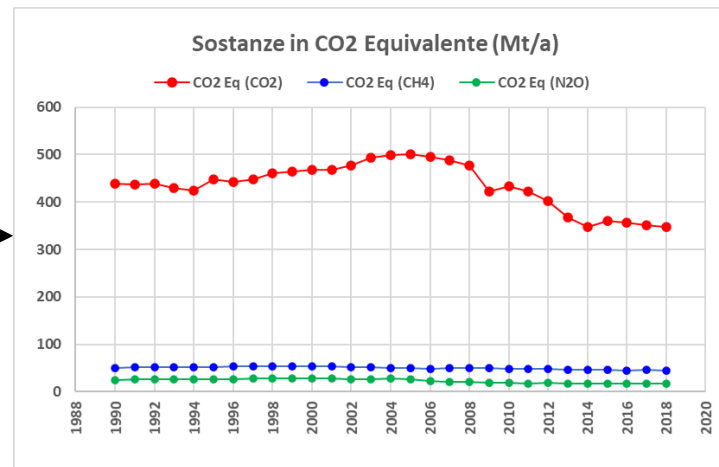
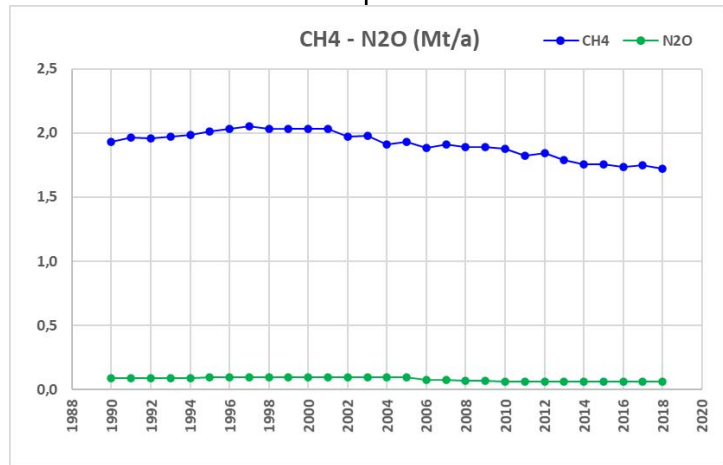
$$IND = 1 - \frac{(D + C)}{D_{MAX}} \quad D_{MAX} = 6,714$$

- L'INDICATORE varia da **0 a 1**. Per **IND=1** entrambi gli obiettivi di riduzione (**GLOBALE e LOCALE**) sono raggiunti e il suo valore segue la traiettoria nelle diverse regioni del **PIANO DEGLI IMPATTI**

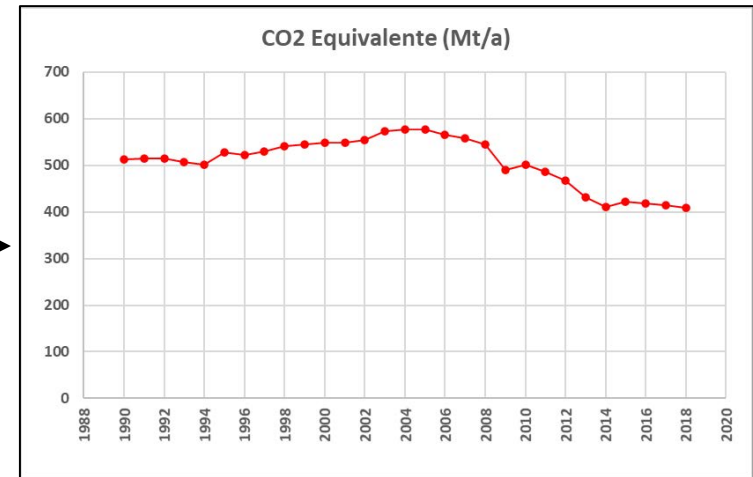
Inquinanti ad effetto GLOBALE



GWP



Σ



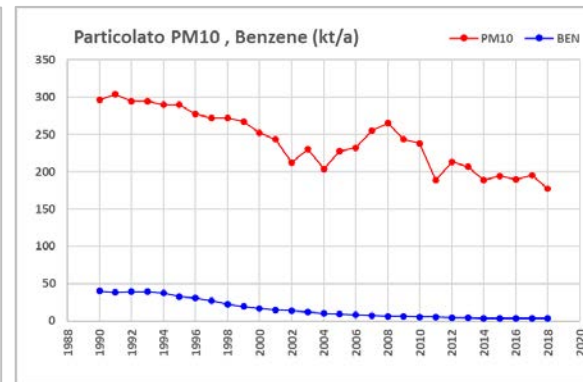
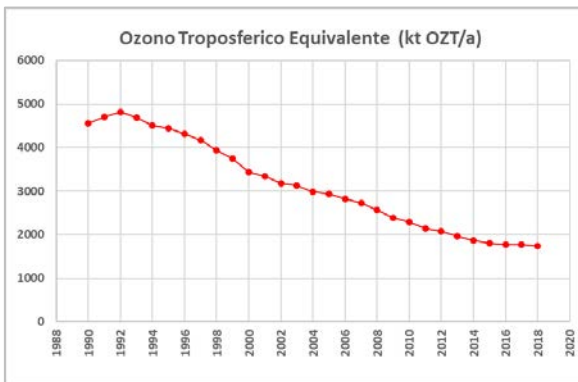
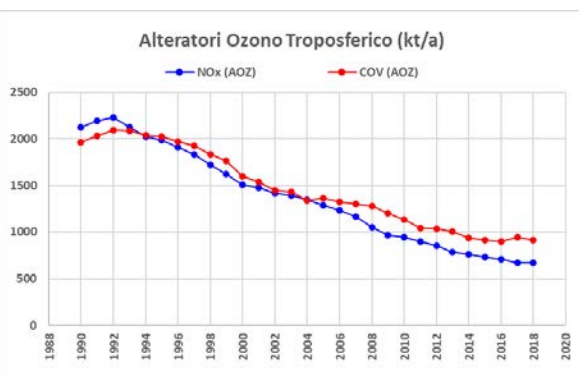
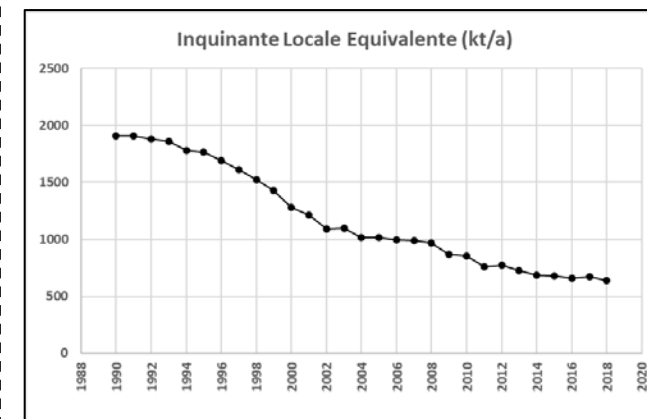
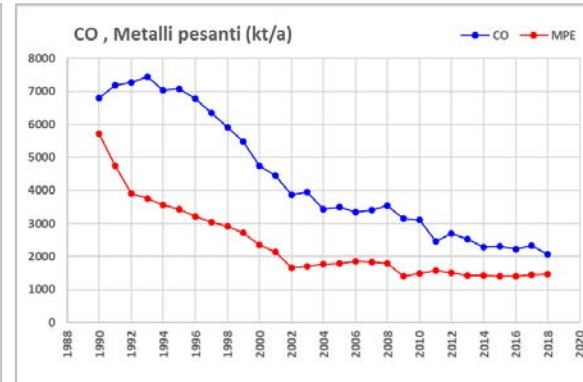
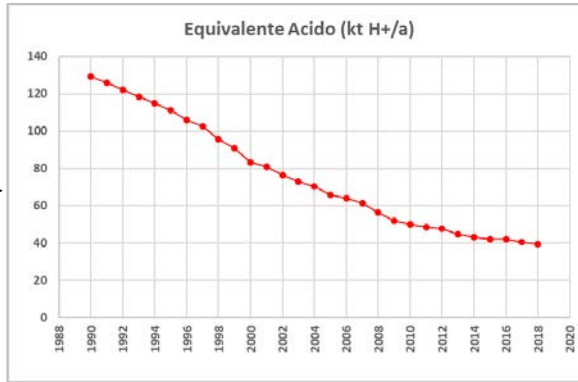
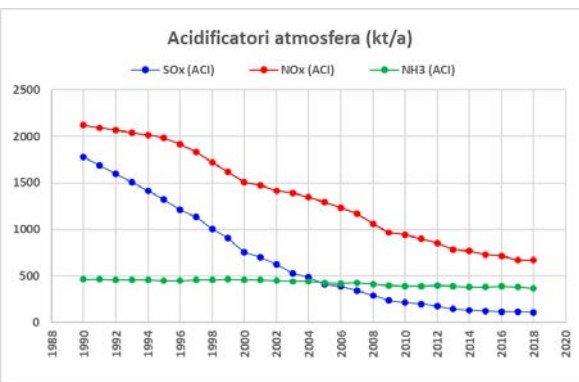
Componente GLOBALE

I DATI ORIGINALI SONO RIPARTITI PER SETTORE

I DATI sono stati ricavati e analizzati dagli *Annuari dei dati Ambientali (ISPRA)* nel periodo 1988-2018 dopo confronto e verifica con altre fonti

Inquinanti effetto LOCALE/REGIONALE

Componente LOCALE



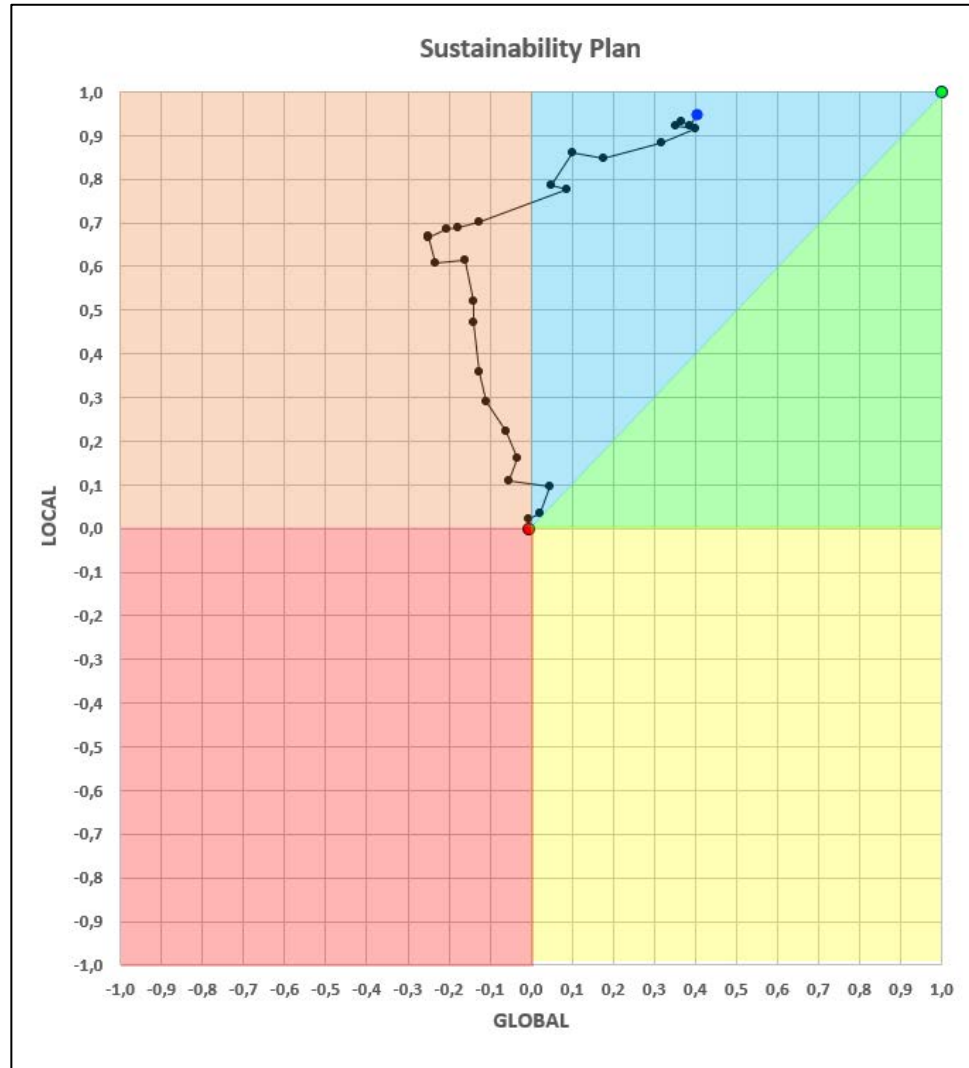
VEETTORE AHP IMPORTANZE INQUINANTI LOCALI (SLIDE 11)

	LOC
ACI	0,3806
PAR	0,2516
AOZ	0,1602
CO	0,1009
MPE	0,0643
BEN	0,0425
Tot	1,000
CI	0,01973

I DATI ORIGINALI SONO RIPARTITI PER SETTORE

I DATI sono stati ricavati e analizzati dagli *Annuari dei dati Ambientali (ISPRA)* nel periodo 1988-2018 dopo confronto e verifica con altre fonti

- Per testare il modello sono stati ipotizzati i due obiettivi al 2018 (-50% GLOBALE, -70% LOCALE) rispetto alle emissioni 1990.



PIANO DEGLI IMPATTI

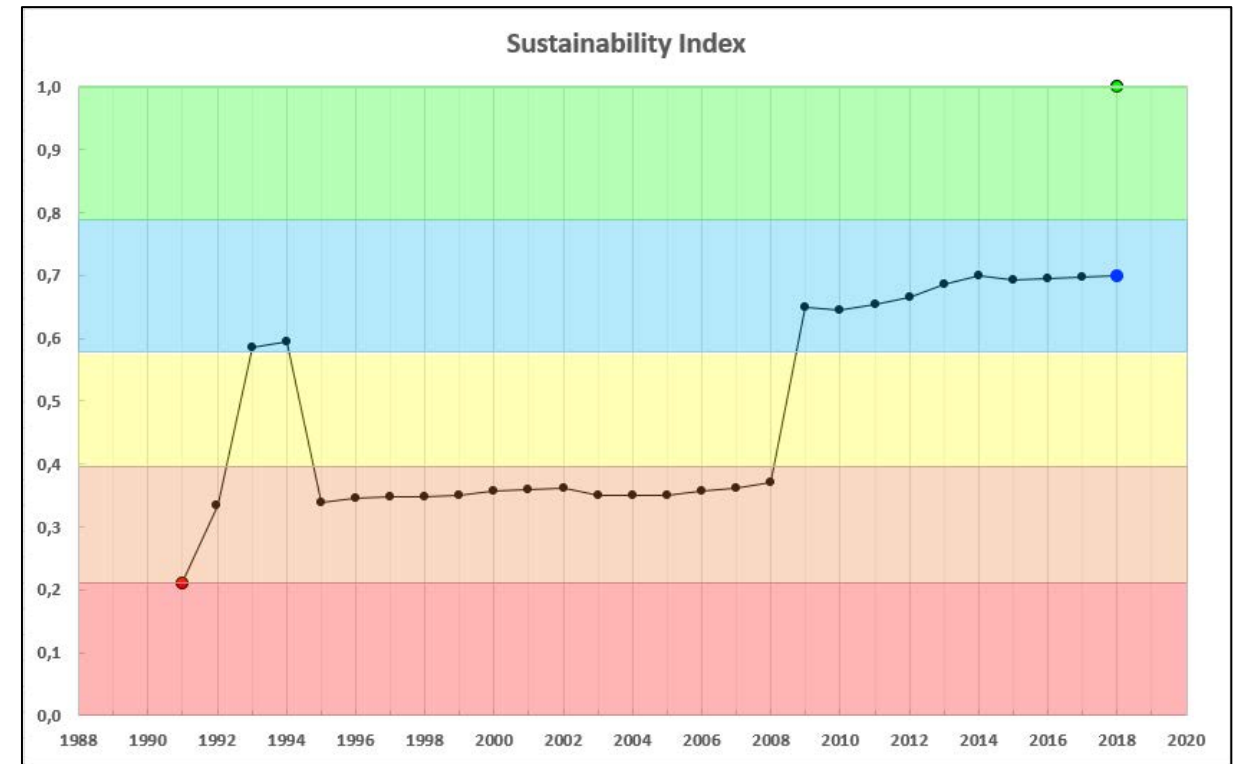
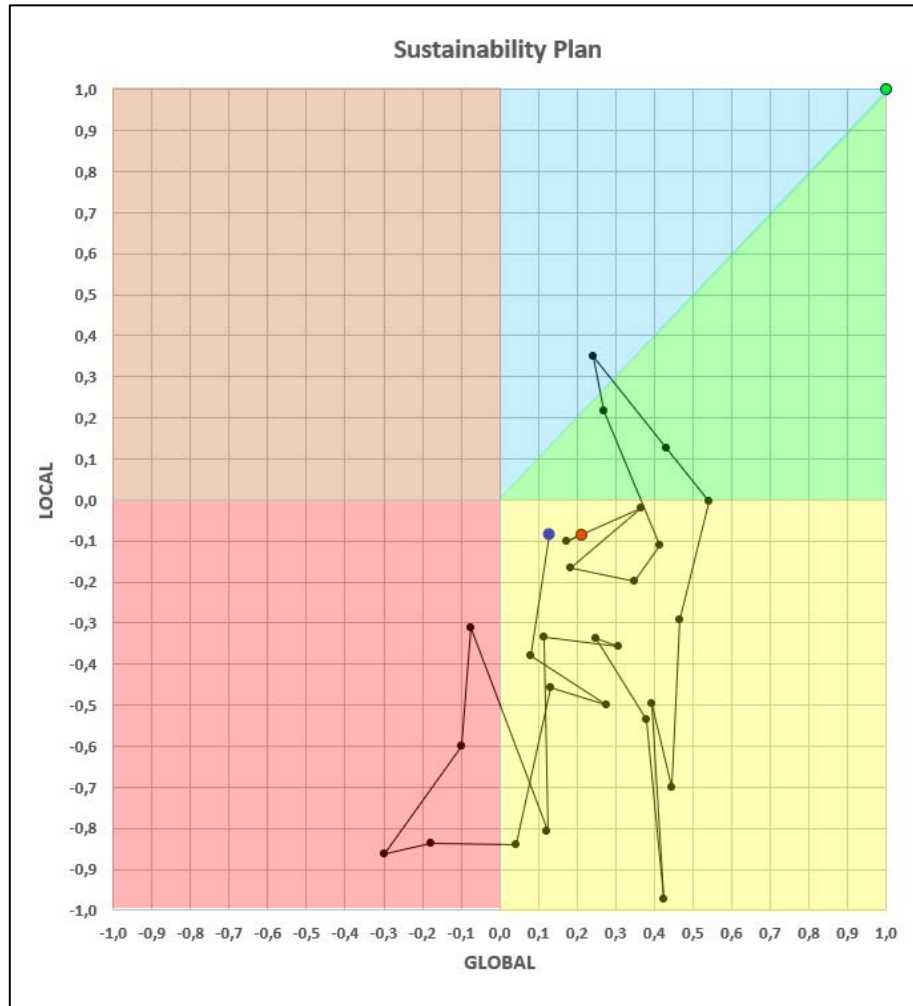


GRAFICO DELL'INDICATORE

- Per testare il modello sono stati ipotizzati i due obiettivi al 2018 (-35% GLOBALE -35% LOCALE) rispetto alle emissioni ITALIA 1990 ed è stata simulata una evoluzione annua RANDOM (POSSIBILE SIA IN AUMENTO CHE IN DIMINUZIONE) sulla base di una MASSIMA RIDUZIONE ANNUA SUL GLOBALE = 5% e una MASSIMA RIDUZIONE ANNUA SUL LOCALE = 7% sull'anno precedente SENZA STRATEGIE.



PIANO DEGLI IMPATTI

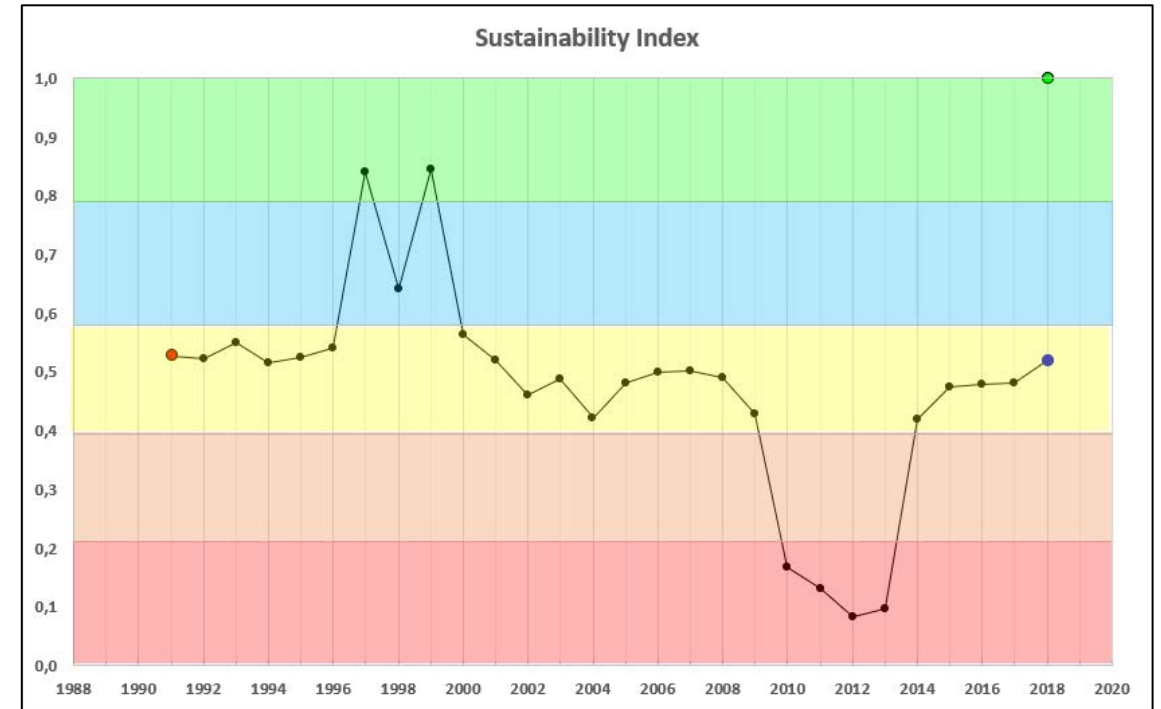
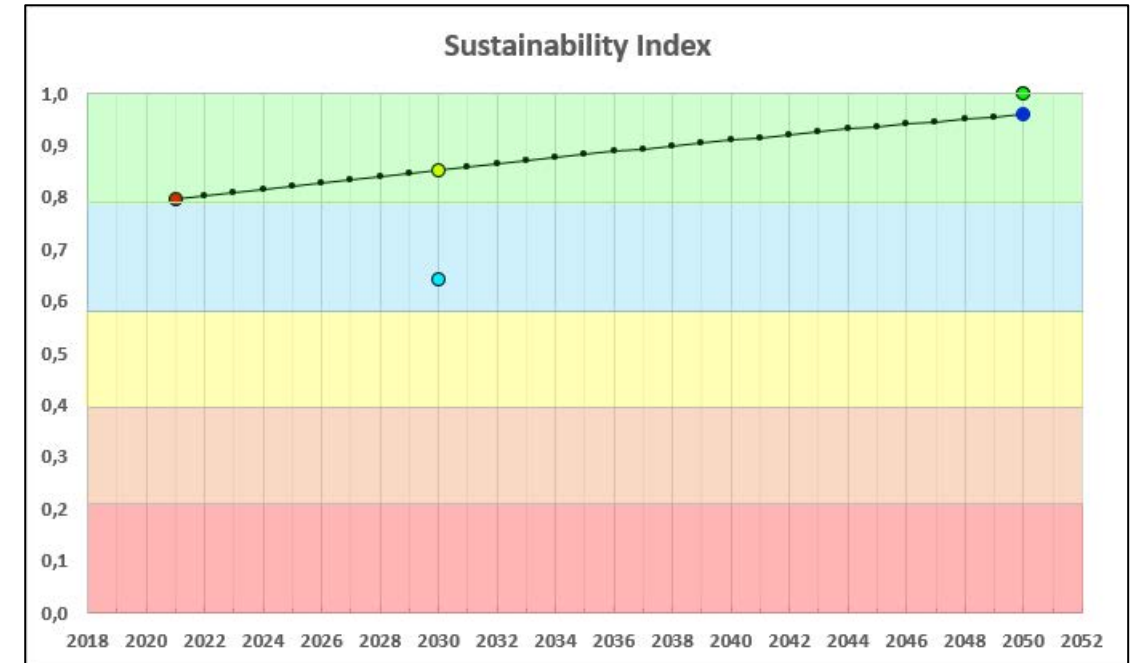
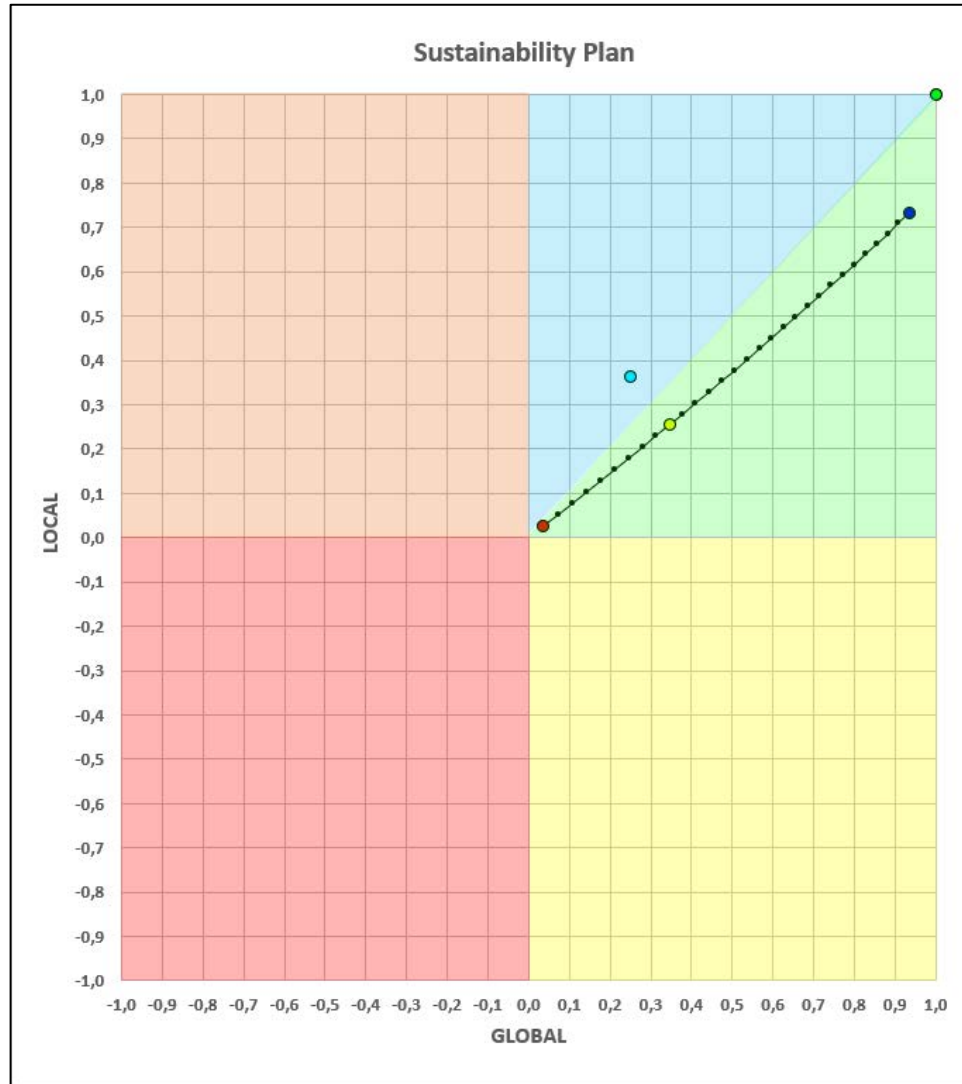


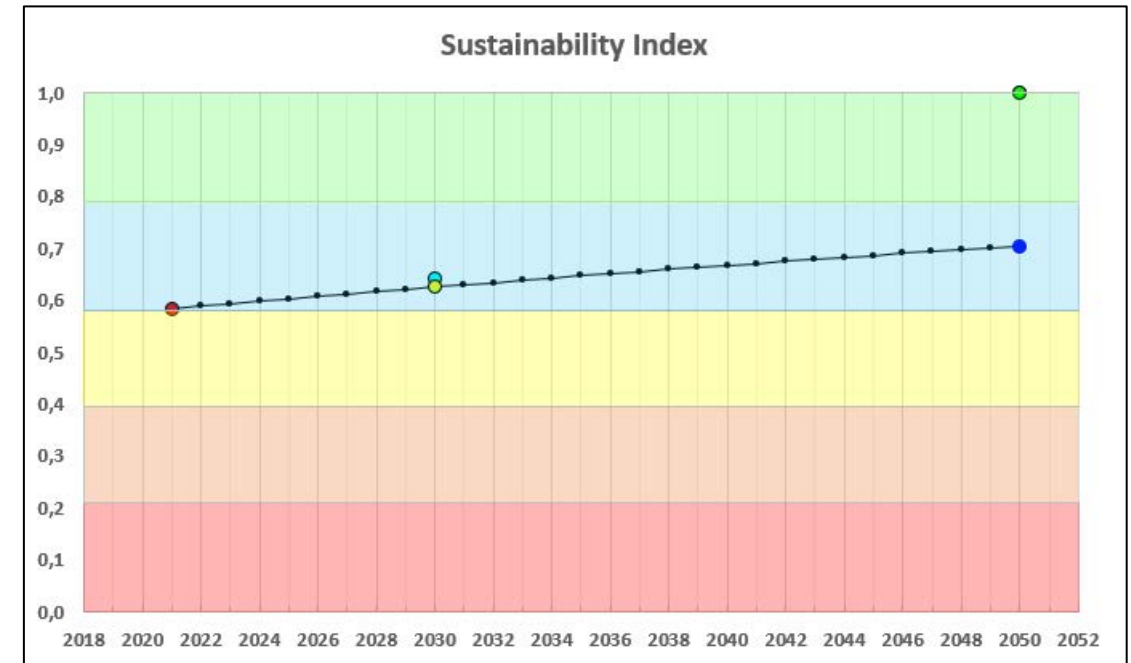
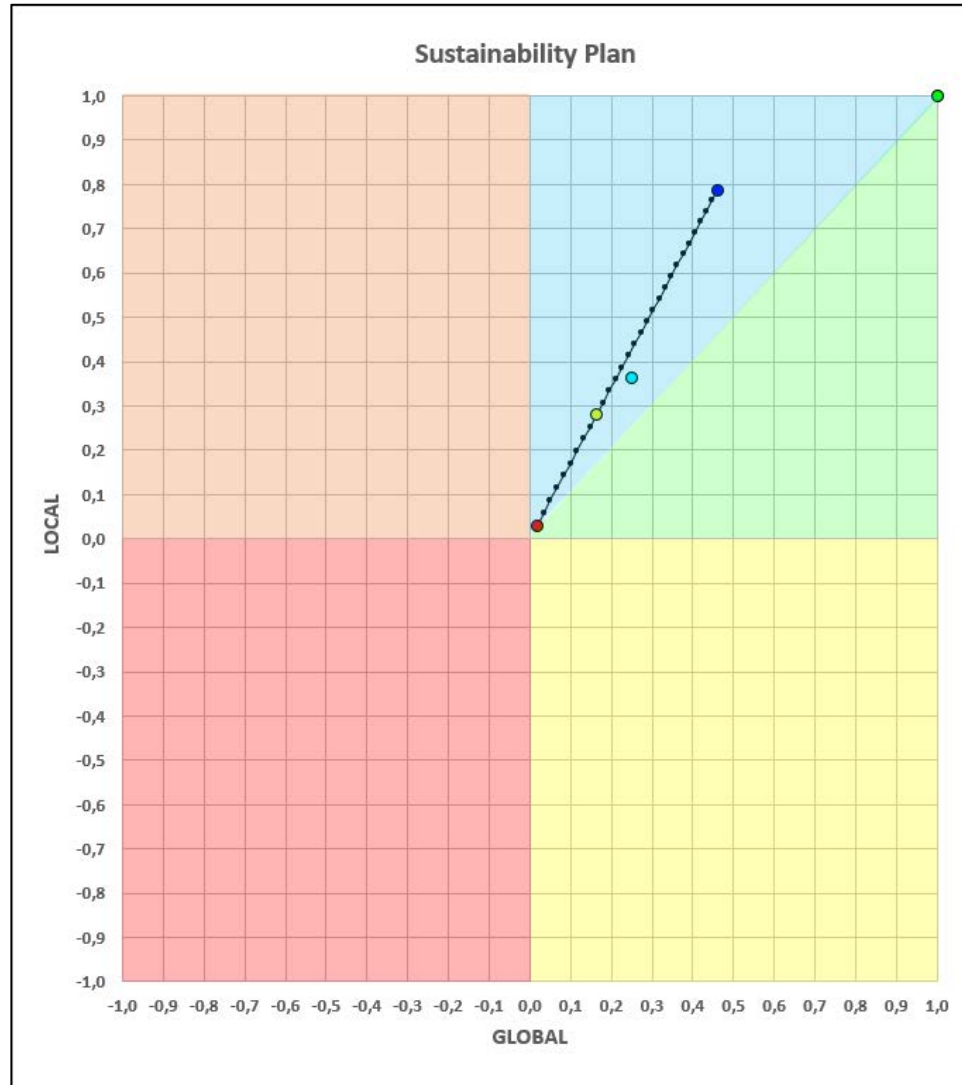
GRAFICO DELL'INDICATORE

- Per testare il modello sono stati ipotizzati i due obiettivi al 2030: (-33% GLO , -40% LOC) e al 2050: (-45% GLO , -45% LOC) rispetto alle emissioni ITALIA 2005 ed è stata simulata una riduzione annua (-4,3% GLO , -2,7% LOC) con STRATEGIA ENE.



- Il cerchio celeste indica l'obiettivo intermedio 2030
- Il cerchio giallo la situazione raggiunta all'obiettivo intermedio 2030

- Per testare il modello sono stati ipotizzati i due obiettivi al 2030: (-33% GLO , -40% LOC) e al 2050: (-45% GLO , -45% LOC) rispetto alle emissioni ITALIA 2005 ed è stata simulata una riduzione annua (-4,3 GLO , -2,7% LOC) con STRATEGIA PRO.



- Il cerchio celeste indica l'obiettivo intermedio 2030
- Il cerchio giallo la situazione raggiunta all'obiettivo intermedio 2030

- **Approfondire la sintesi delle conoscenze scientifiche (giudizi elicitati di esperti) per migliorare la composizione della matrice AHP relativa all' EQUIVALENTE inquinante ad impatto prevalentemente LOCALE/REGIONALE.**
- **Integrare il modello con la possibilità di scegliere andamenti caratteristici di riduzione delle componenti GLOBALI e LOCALI di emissione negli anni che tengano conto delle reali dinamiche del sistema industriale (capacità e tempistiche di adozione delle BAT di settore per l'attuazione delle variazioni previste).**
- **Testare il modello con dati sulle emissioni di inquinanti di altri paesi europei e paesi in via di sviluppo per validarne la capacità rappresentativa e l'utilità come supporto decisionale.**
- **IL PROGETTO DI RICERCA VERRA' INSERITO NELLE ATTIVITÀ DIDATTICHE ATTIVATE DAL DIAEE (Dipartimento di Ingegneria Astronautica Elettrica ed Energetica) CHE SI È FATTO PROMOTORE DI UN CORSO DI STUDI INTER-FACOLTÀ SUI TEMI DELLA SOSTENIBILITÀ ED IN PARTICOLARE DI QUELLA AMBIENTALE.**
- **PARTENDO DALLE CONCLUSIONI DEL PRESENTE PROGETTO DI RICERCA, SONO IN CORSO DI DEFINIZIONE COLLABORAZIONI SCIENTIFICHE TRA IL DIAEE ED ENEL Green Power SUL TEMA DELLO SVILUPPO DI INDICI DI SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE PER IL SUPPORTO NELLA GESTIONE DELLE FASI OPERATIVE DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA.**
- **E' in corso di pubblicazione l'articolo scientifico: S. Al Aflak, L. Cretara , M. Frullini, *Proposal of an environmental sustainability indicator integrated with multi-criteria decision support methods* su rivista open access Sustainability 2021**

**Scuola di Dottorato in Scienze e tecnologie per l'innovazione industriale
Dottorato di ricerca in Energia e Ambiente
XXXIII Ciclo**

Dottoranda: Dr.ssa Samr Al Aflak



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Tesi finale

Scuola di Dottorato in Scienze e tecnologie per l'innovazione industriale

**Dottorato di ricerca in Energia e Ambiente
XXXIII Ciclo**

Tutor: Prof. Massimo Frullini