

STRADE ECO – SOSTENIBILI

Innovazioni tecnologiche per la riduzione dei consumi energetici e delle emissioni da traffico

Lorenzo DOMENICHINI

Università di Firenze
Dipartimento di Ingegneria Civile
lorenzo.domenichini@unifi.it



TEMA
CRESCITA “ECO-COMPATIBILE”
(SOSTENIBILE)
DEL SISTEMA DI TRASPORTI

**Alla ricerca di un delicato equilibrio tra
MOBILITA' e PROPRIETA' AMBIENTALI**

AUTUMN COLOURS ON A LAKE IN ALGONQUIN PROVINCIAL PARK, ONTARIO

EFFETTI DELLE INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO SULL'AMBIENTE NATURALE E ANTROPIZZATO

INTERAZIONE TRA UTILIZZO DEL SUOLO, INFRASTRUTTURE DI
TRASPORTO E QUALITA' AMBIENTALI

EFFETTI DIRETTI ED INDIRETTI DELL'AMBIENTE COSTRUITO



CRESCITA ECO - SOSTENIBILE
MECCANISMI PER MIGLIORARE LA QUALITA' AMBIENTALE
EQUILIBRIO DELICATO TRA MOBILITA' E PRIORITA' AMBIENTALI
SEEKING A BALANCE

LA PROGETTAZIONE AMBIENTALE DI UNA INFRASTRUTTURA STRADALE

Definizione delle caratteristiche fisiche delle strade e delle modalità di gestione del traffico che consentano di tradurre in pratica l'obiettivo del raggiungimento di una situazione di equilibrio tra le esigenze di mobilità e le proprietà ambientali del territorio attraversato



“CAPACITA' AMBIENTALE”:

Valore del volume di traffico ammissibile in ciascuna specifica situazione in relazione alla sua compatibilità con il mantenimento di buone qualità ambientali

Concetto complesso da mettere in pratica, a causa della complessità delle interazioni tra trasporti ed ecosistema



Verifica delle ricadute ambientali delle soluzioni studiate e criteri di mitigazione degli effetti

SOLUZIONI E TECNOLOGIE “ECO-SOSTENIBILI” PER LA PROGETTAZIONE, COSTRUZIONE E GESTIONE DELLE STRADE

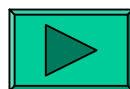
3 esempi:

- Il progetto di strade che consentano la riduzione delle emissioni prodotte dal traffico
- Le miscele “tiepide” per la realizzazione delle pavimentazioni stradali
- La progettazione integrata degli impianti tecnologici delle gallerie (il lavaggio termico dell’aria espulsa)

Esempio n° 1

INTERSEZIONE SS1 – SS 67 bis

Scelta della soluzione progettuale per il
miglioramento della sicurezza
nell'intersezione



INTERSEZIONE SS1 – SS 67 bis

Attività diagnostica effettuata:

- Road Safety Review dell'intersezione
- Analisi dell'incidentalità nell'intersezione
 - Rilievo dei flussi di traffico 
- Rilievo delle velocità in approccio all'intersezione

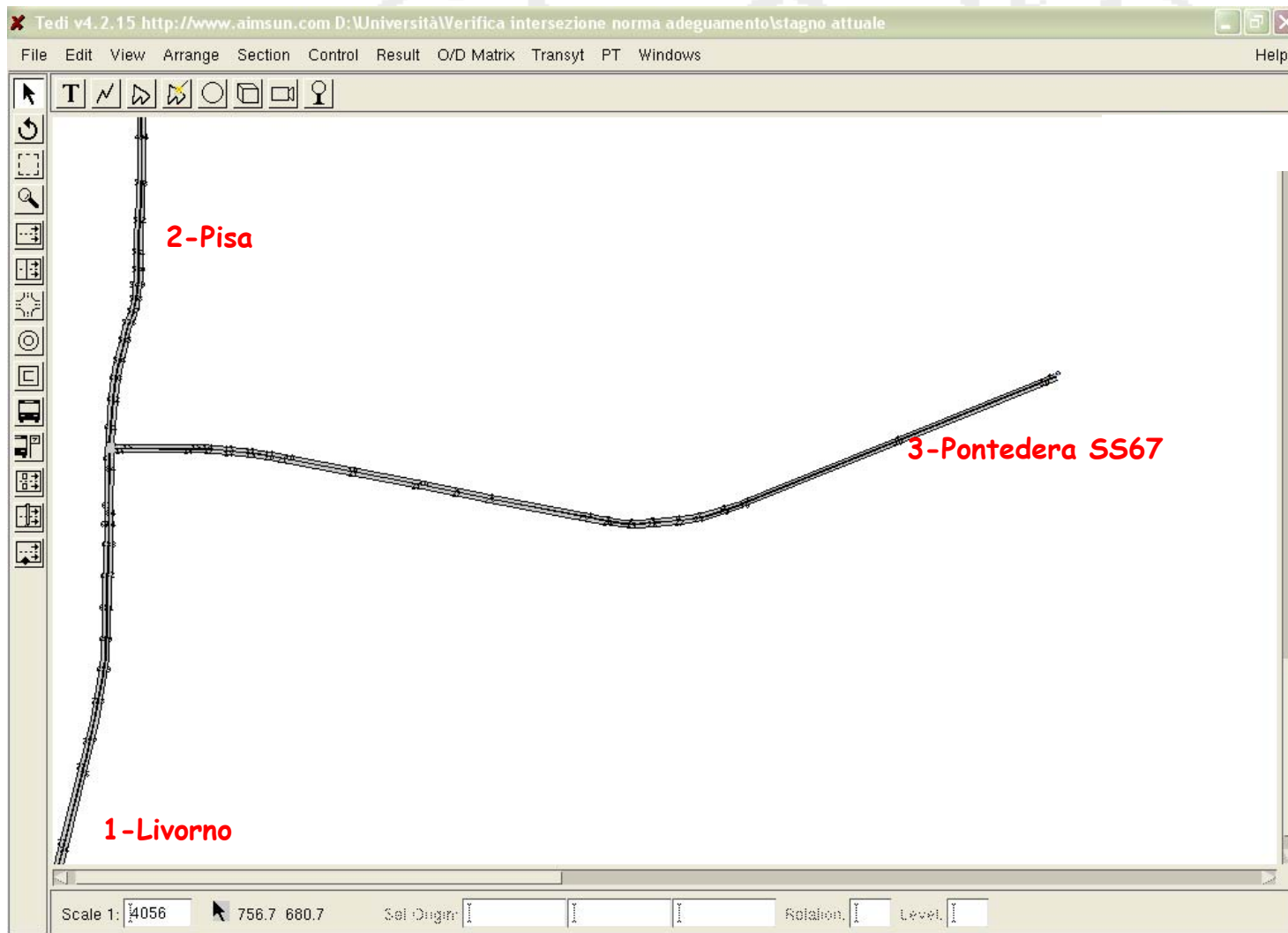
Principale problema di sicurezza individuato:

MANCANZA DI VISIBILITA' PER LA SVOLTA A SINISTRA DALLA SS67bis ALLA SS1 in direzione Livorno



INTERSEZIONE SS1 – SS67 bis

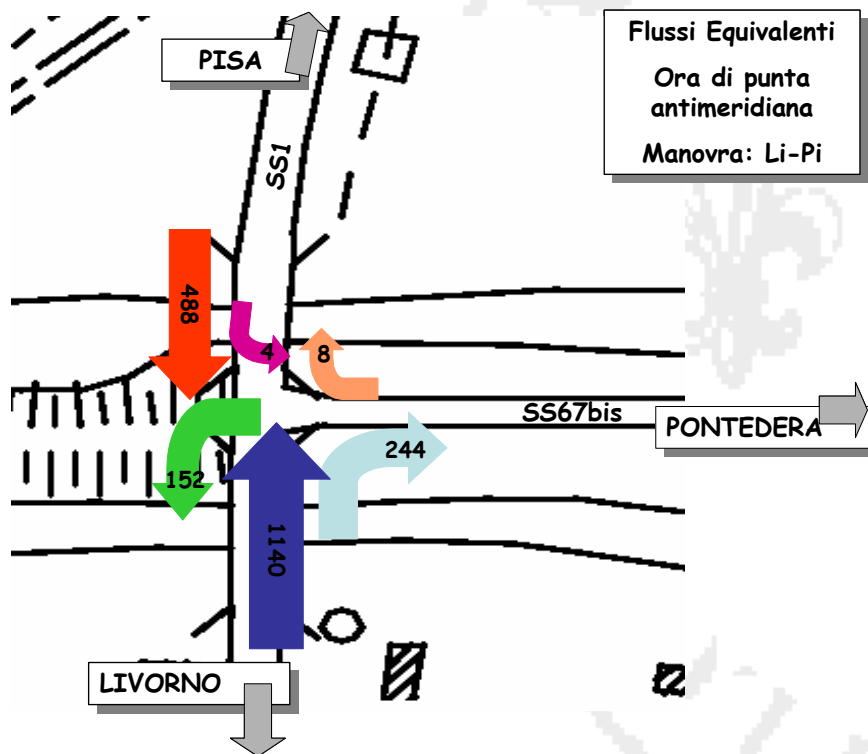
Stato attuale



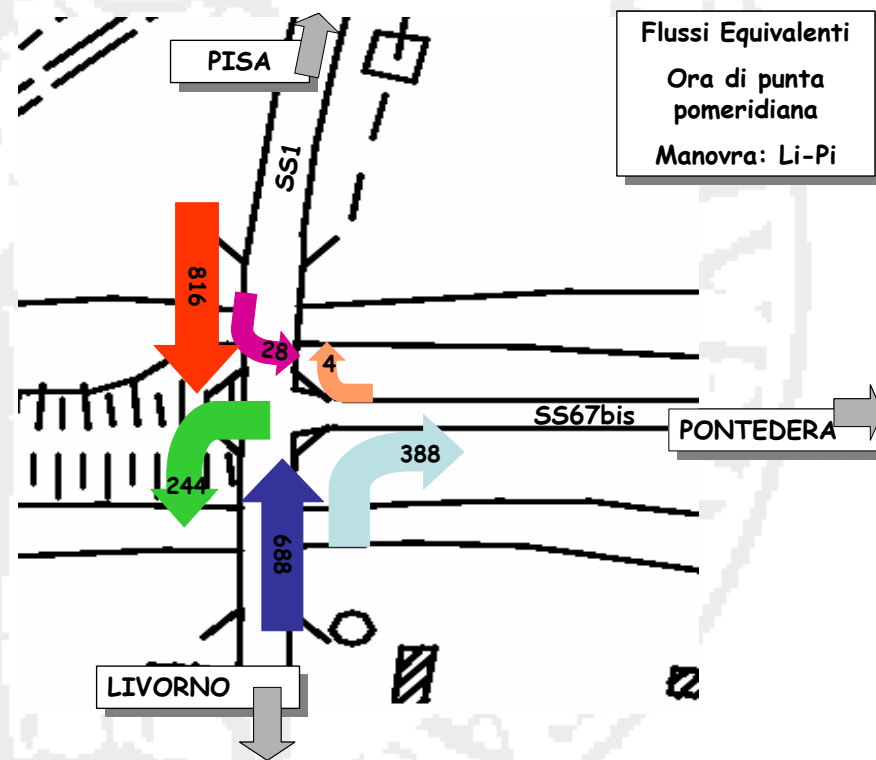
INTERSEZIONE SS1 – SS67 bis

Rilievo dei flussi di traffico

Ora di punta antimeridiana



Ora di punta pomeridiana

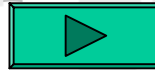


INTERSEZIONE SS1 – SS 67 bis

Soluzioni progettuali analizzate

*lo studio è stato svolto secondo quanto previsto dalla bozza della
nuova norma per “l’adeguamento delle strade esistenti”*

- Stato attuale (assunto quale riferimento prestazionale)

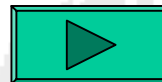


- Semaforizzazione dell’intersezione



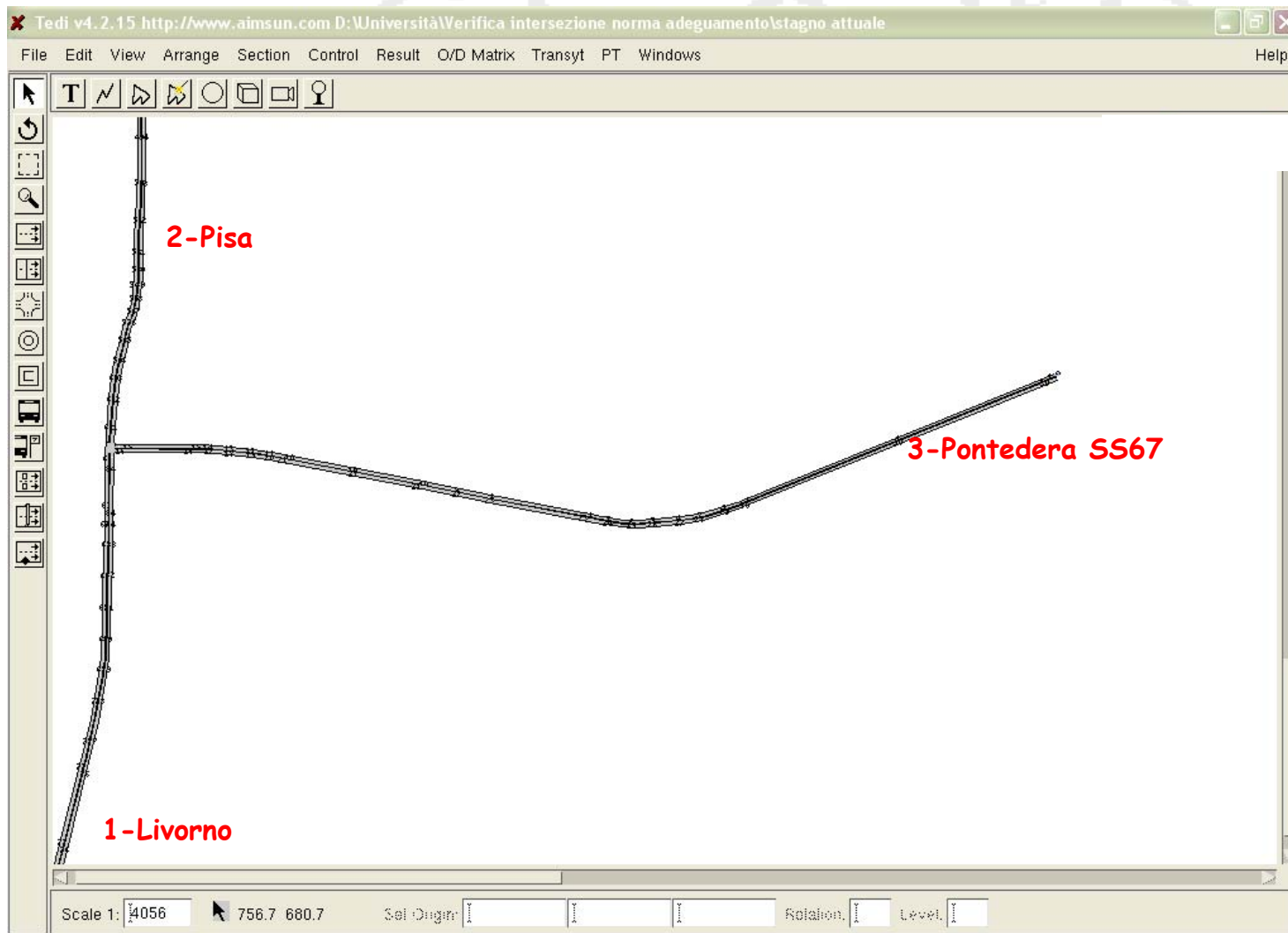
- Trasformazione dell’intersezione a T esistente in

ROTATORIA



INTERSEZIONE SS1 – SS67 bis

Stato attuale



INTERSEZIONE SS1 – SS67 bis

Semaforizzazione dell'incrocio

Control Plan: AM

Id	Name	Tvoe	Status
1		FIX	

Graphic Phases

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110

Ring 1: 1 (blue bar) 3 (red bar)

SGroup 2: 1 (green bar)

SGroup 1: 3 (red bar)

120.0

Show Id Show Duration (in seconds)

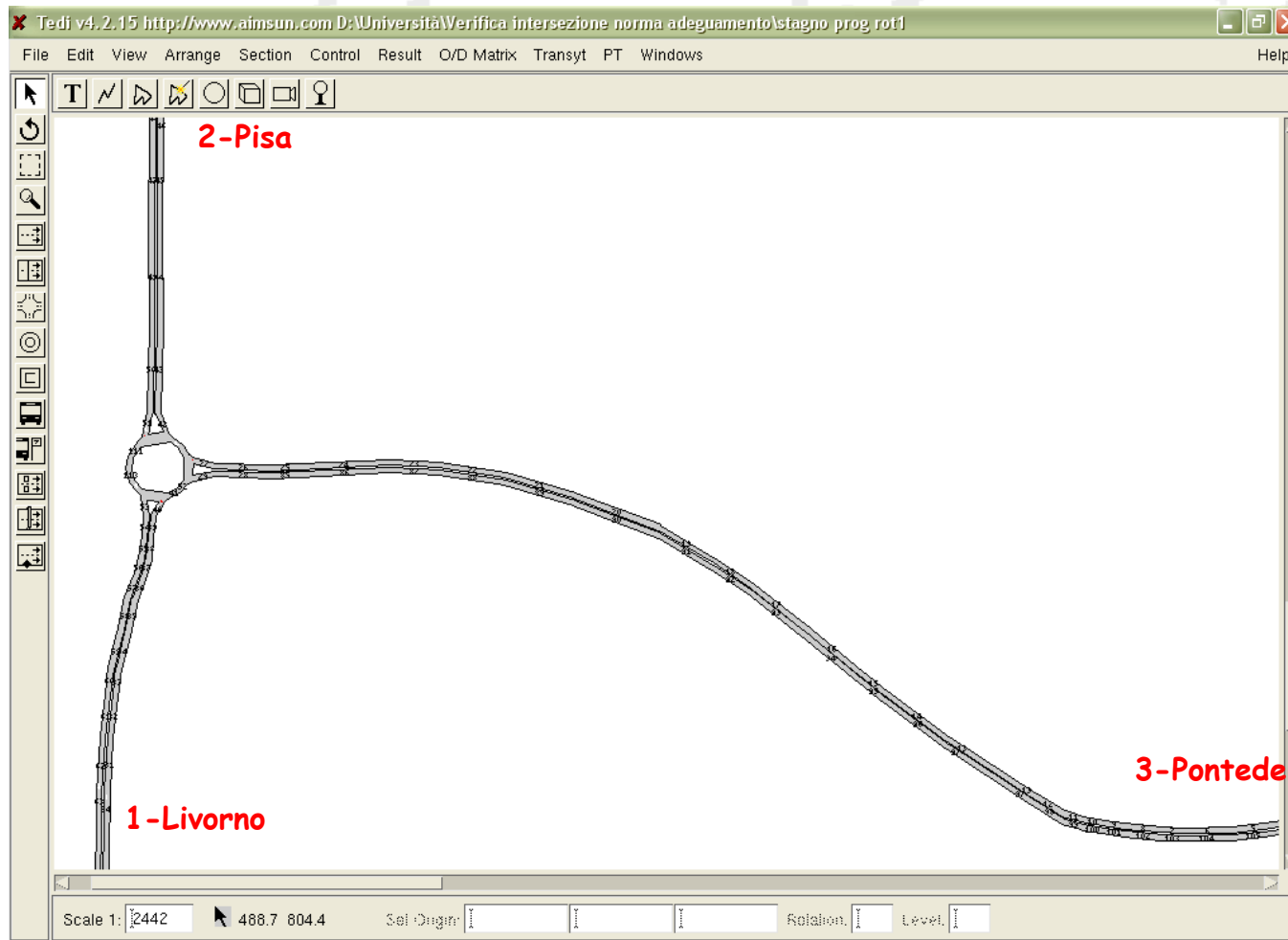
Active Timings

From	To
1	
2	



INTERSEZIONE SS1 – SS67 bis

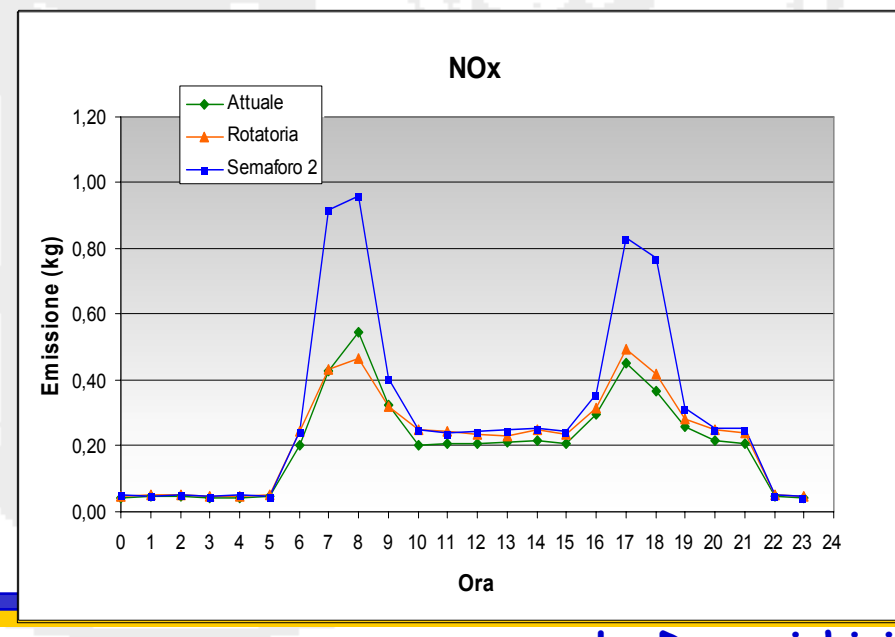
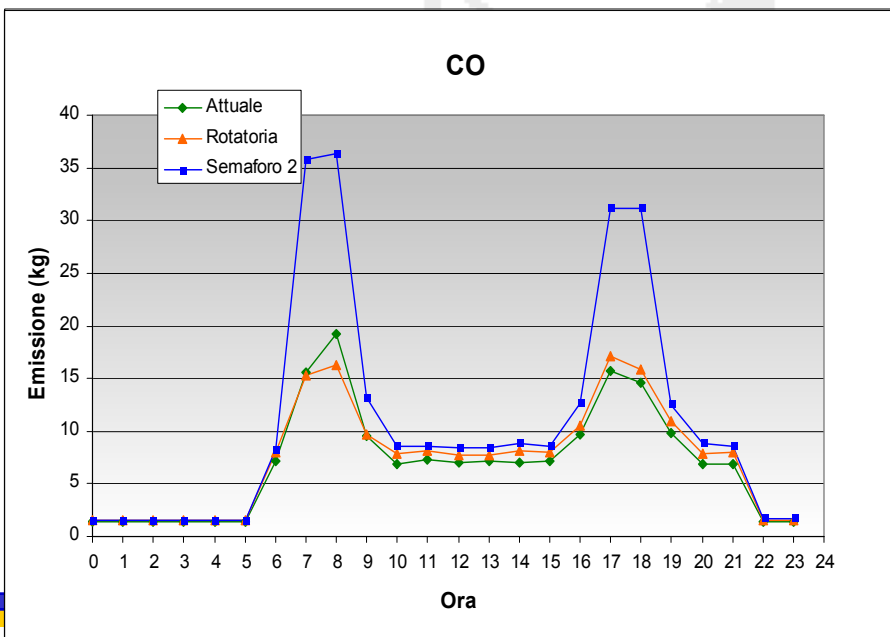
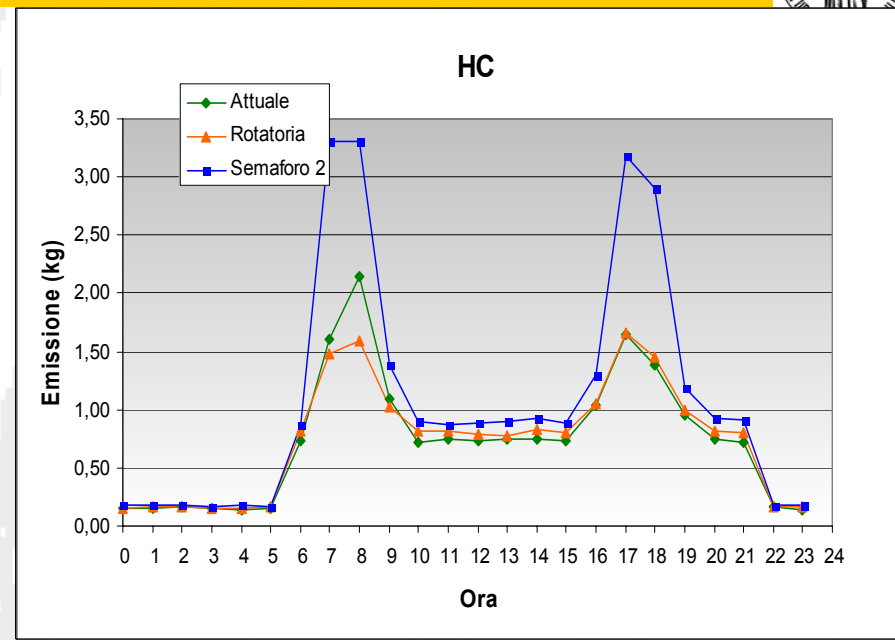
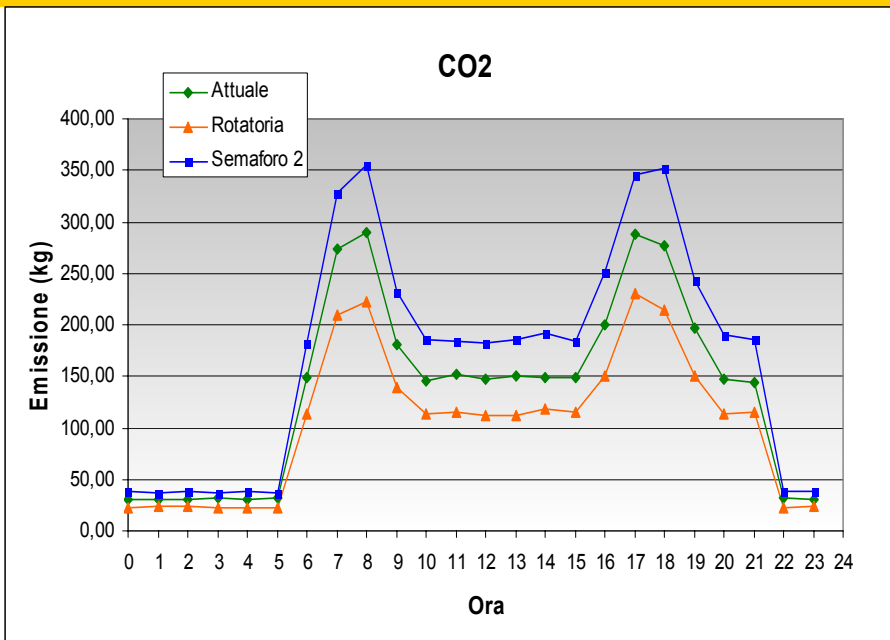
Trasformazione dell'incrocio in rotatoria



INTERSEZIONE SS1 – SS67 bis

Analisi delle emissioni inquinanti nelle diverse soluzioni esaminate

EMISSIONI NEL GIORNO FERIALE TIPO	Emissioni (kg)		
	Attuale	Semafor o	Rotatoria
TOTALE CO ₂ giorno	3.288	4.079	2.527
TOTALE CO giorno	169	263	180
TOTALE HC giorno	18	26	18
TOTALE NO _x giorno	4,91	7,19	5,31
TOTALE Particolato giorno	0,85	0,94	0,79
TOTALE CO ₂ equivalente giorno	5.004	6.625	4.373
CO ₂ equiv. evitata in 1 anno	-	- 406 t	158 t
Particolato evitato in 1 anno	-	- 22 kg	15 kg



Esempio n° 2

LE TECNOLOGIE “*TIEPIDE*”

per la realizzazione della
pavimentazione delle strade

Con il nome di **“Warm Mix Technologies”** (tecnologie “tiepide”) vengono chiamati i sistemi atti a ridurre la temperatura di produzione e di stesa del conglomerato bituminoso al fine di ridurre i consumi energetici e la produzione di fumi e sostanze inquinanti. 

Trattasi di mettere a punto miscele legate a bitume che, pur garantendo le prestazioni di resistenza e durabilità proprie delle tradizionali miscele a caldo, sono caratterizzate da una minore viscosità a temperature più basse.

Sono tecnologie sviluppate in Europa (particolarmente attiva in questo campo è la Germania) verso le quali al presente sono rivolte grandi attenzioni anche in Giappone e negli USA. 

IMPIANTO DI PRODUZIONE DEL CONGLOMERATO BITUMINOSO



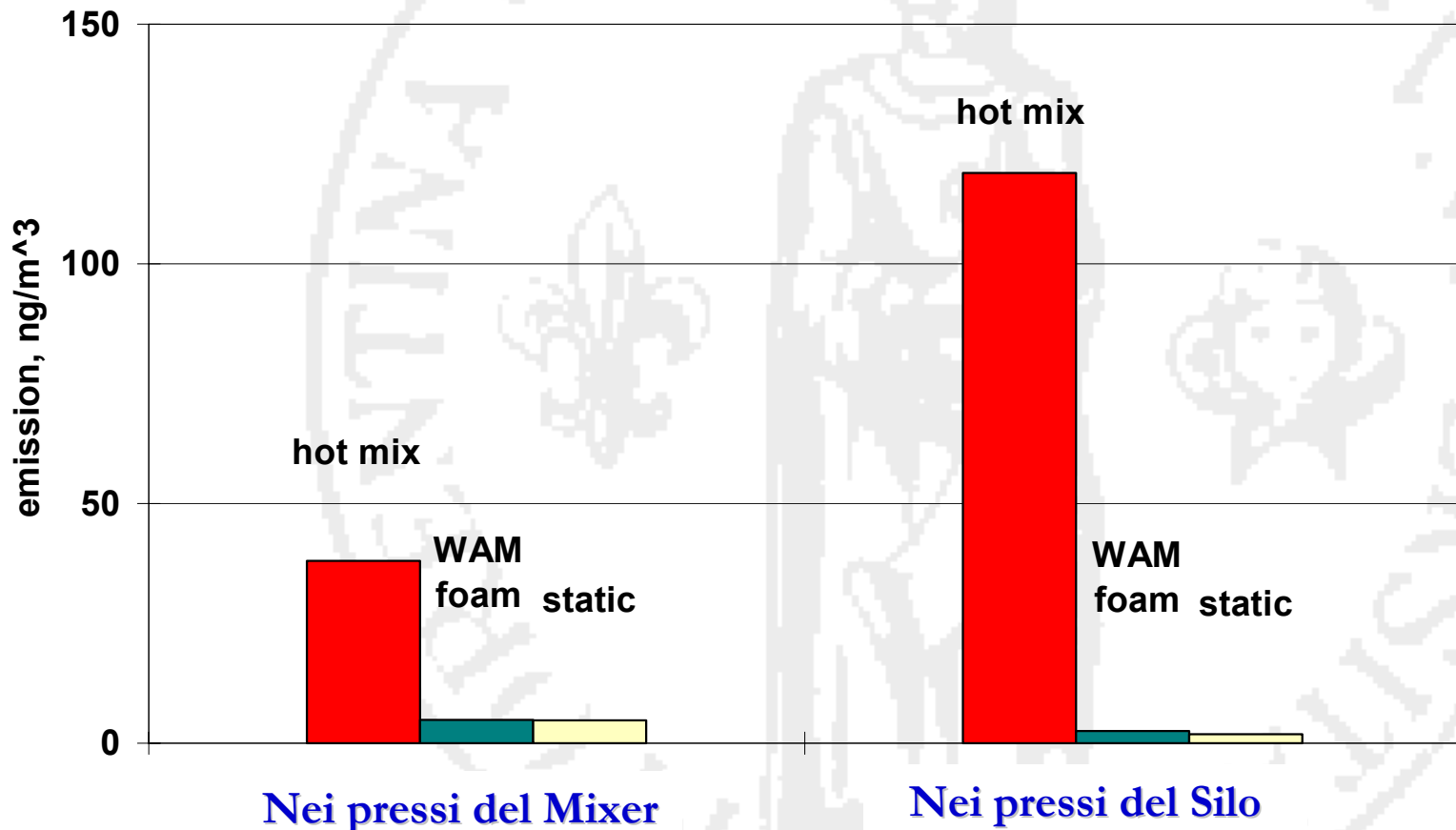
STESA DEL CONGLOMERATO BITUMINOSO



**Conglomerato
tradizionale a caldo**

Tecnologia “tiepida”

Profili di emissione di composti policiclici aromatici (PACs - Polycyclic Aromatic Compounds) durante la produzione delle miscele (*)



(*) Molti PACs hanno proprietà cancerogene riconosciute

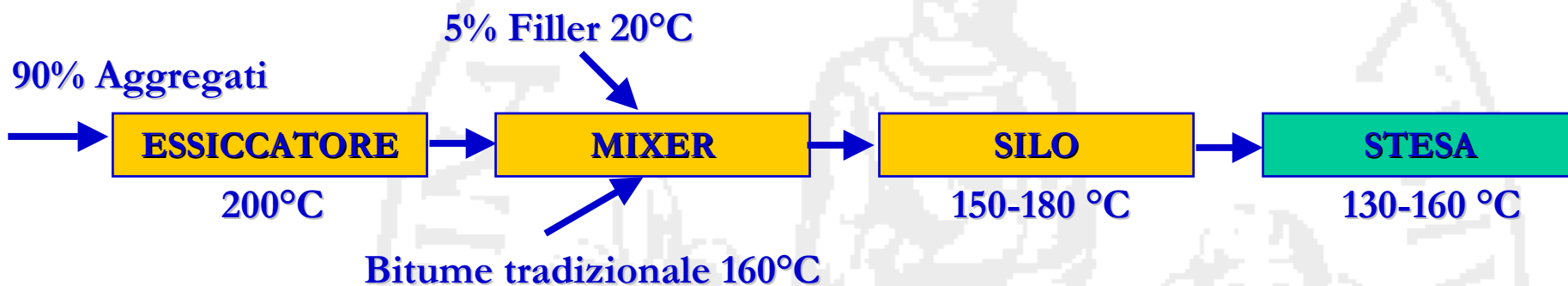


TECNOLOGIE DISPONIBILI

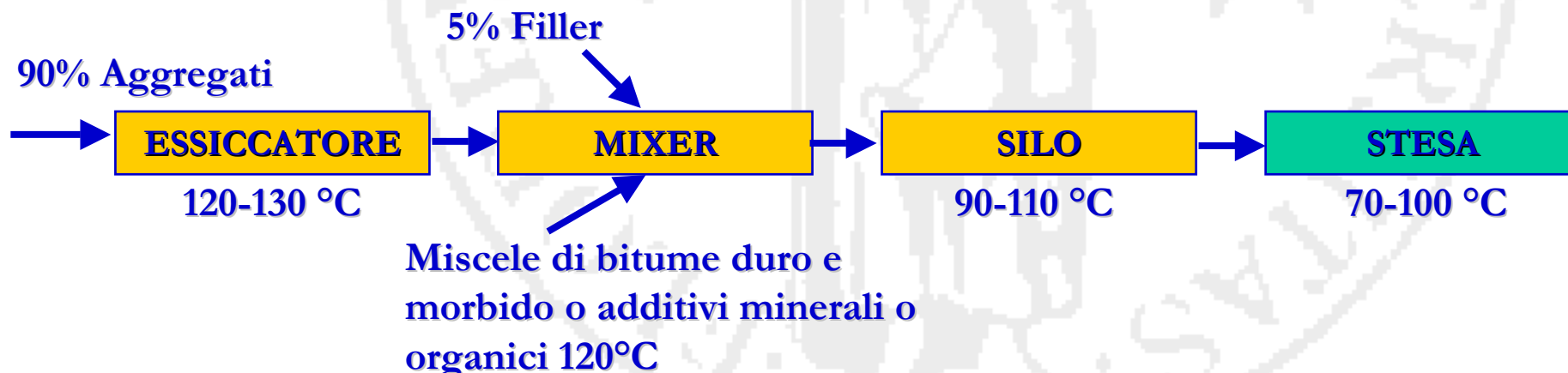
- Tecnologie che agiscono sul processo di produzione: **WAM-foam®**, prodotta dalla Shell International Petroleum (UK) e dalla Kolo Veidekke a.s. (Norvegia), commercializzata in Italia dalla Contech
- Tecnologie che impiegano additivi:
 - ✓ Minerali (a base di Zeoliti): **Aspha-Min®**, prodotto dalla Eurovia Services GmbH (Germania)
 - ✓ Organici (a base di cere paraffiniche o altri composti idrocarbinati ad alto peso molecolare):
 - **Sasobit®**, prodotto dalla Sasol Wax GmbH (Germania) con l'impiego di cere paraffiniche
 - **Asphaltan B®**, prodotto dalla Romonta GmbH (Germania)

IL PROCESSO PRODUTTIVO

Conglomerati a caldo tradizionali

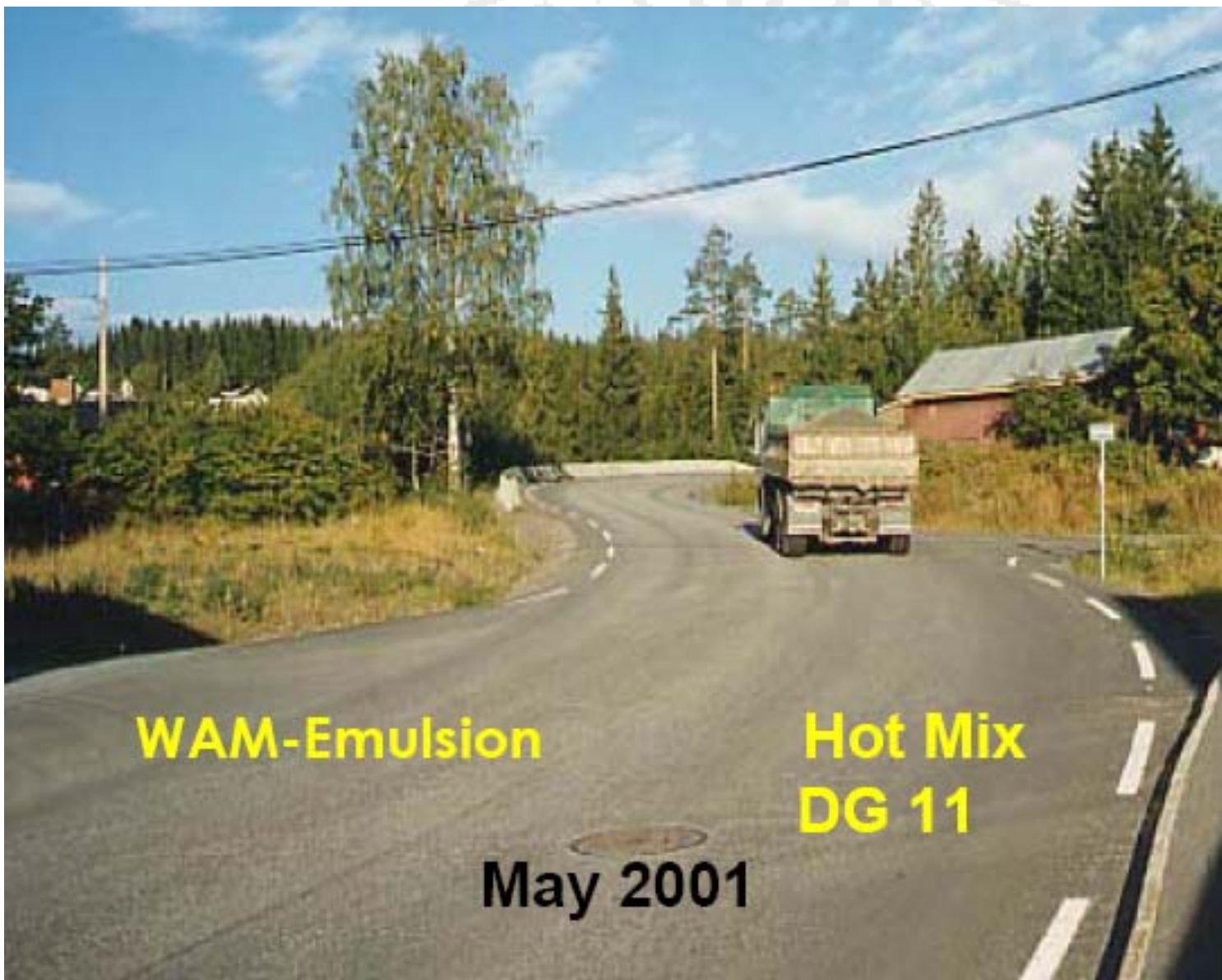


Conglomerati "tiepidi"



L'ECO-EFFICIENZA DELLE MISCELE “TIEPIDE”

- 40% in meno di emissioni di CO₂, 30% in meno di CO, 60% in meno di NO_x (*contributo agli obiettivi del protocollo di Kyoto*)
- 40-50% di risparmio energetico in produzione (*contributo al risparmio di energie non rinnovabili*)
- 50% in meno di emissioni di polveri e particolato
- Scomparsa di fumi e aromi odorosi (*tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori*)



WAM-Emulsion

**Hot Mix
DG 11**

May 2001

Esempio n° 3

Gallerie autostradali e sistemi energetici, una possibile strategia di integrazione per migliorare l'impatto ambientale

*Progetto di ricerca in corso presso
l'Università di Firenze*

Prof. Ing. Ennio A. Carnevale (*)

Prof. Ing. Lorenzo Domenichini ()**

Ing. Lorenzo Ferrari (*)

() Dipartimento di Energetica "Sergio Stecco" – Università di Firenze*

*(**) Dipartimento di Ingegneria Civile – Università di Firenze*

Introduzione

- Le gallerie favoriscono l'accumulo di sostanze inquinanti in aree geografiche molto ristrette.
- La ventilazione interna permette la diluizione degli inquinanti, ma non interviene sul loro abbattimento.
- Inasprimento delle normative sulle emissioni (CO_2 , CO , NO_x , HC , VOC , Particolato e Polveri).
- Inquinamento distribuito legato al consumo di energia elettrica prodotta, con basse efficienze, da combustibili fossili ($\eta_{\text{ref}}=37\%$; $0.531 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}_{\text{el}}$)

Introduzione

- **Sistemi energetici avanzati con emissioni compatibili con le restrizioni di impatto ambientale ed elevati rendimenti (impianti combinati turbina a gas e ciclo sottoposto a vapore).**
- **Le condizioni di combustione nella turbina a gas permettono un lavaggio termico dell'aria uscente dalla galleria.**
- **Ossidazione di CO, HC, VOC e Particolato (prevalentemente composto da residui carboniosi e prodotti dell'usura del manto stradale, dei freni e dei pneumatici).**

Integrazione Galleria – Sist. Energ.

- Quando possibile, ubicare una turbina a gas con ciclo sottoposto in prossimità della bocca di una galleria potrebbe ridurre l'impatto ambientale del traffico.
- Gli inquinanti sono aspirati dal compressore del gruppo turbogas e le condizioni di temperatura raggiunte in camera di combustione permettono il lavaggio termico dell'aria

Progettazione strategica degli interventi antropici

Esempio di applicazione

- Galleria di base della Variante di Valico
 - Tipologia a doppia canna, ognuna di circa 9 km con 2 corsie più una di emergenza
 - Sezione frontale di ogni canna di circa 136 m²
 - Ventilazione ausiliaria mediante discenderia verticale a circa metà della lunghezza della canna
- Potenza elettrica installata
 - Totale: 7540 kW
 - Ventilazione e diluizione: 4680 kW
 - Illuminazione: 860 kW
 - Ausiliari: 2000 kW

Volume di traffico stimato

- **Ipotesi di traffico**

- Traffico medio giornaliero per canna: 60600 veicoli
- Velocità media veicoli leggeri: 80 km/h
- Velocità media veicoli pesanti: 60 km/h
- Percentuale veicoli leggeri a benzina: 30%
- Percentuale veicoli leggeri diesel: 25%
- Percentuale veicoli pesanti: 45%

Inquinamento stimato

- Emissioni annuali legati al traffico in galleria (2 canne):
 - CO₂ eq. 140.000 t
 - CO₂ 81.500 t
 - CO: 920 t
 - Idr. Incombusti (HC): 120 t
 - NO_x: 210 t
 - Composti organici volatili (VOC): 80 t
 - Particolato: 520 t
- Mediante lavaggio termico è possibile intervenire su CO, HC, VOC e Particolato

Sistema energetico avanzato

- Gruppo Turbogas: GE9132EC prodotto da G.E. e ciclo sottoposto a vapore
 - Potenza elettrica totale: 273 MW
 - Turbogas: 173 MW
 - Ciclo a vapore: 100 MW
 - Portata di aria in aspirazione: 429 m³/s
 - Fattore di emissione equivalente: 0.475 kg CO_{2eq}/kWh_{el}
- Anidride carbonica evitata grazie ad una produzione di energia elettrica più efficiente rispetto al mix italiano:
 - CO_{2eq} evitata: 135.000 t

Analisi di una canna

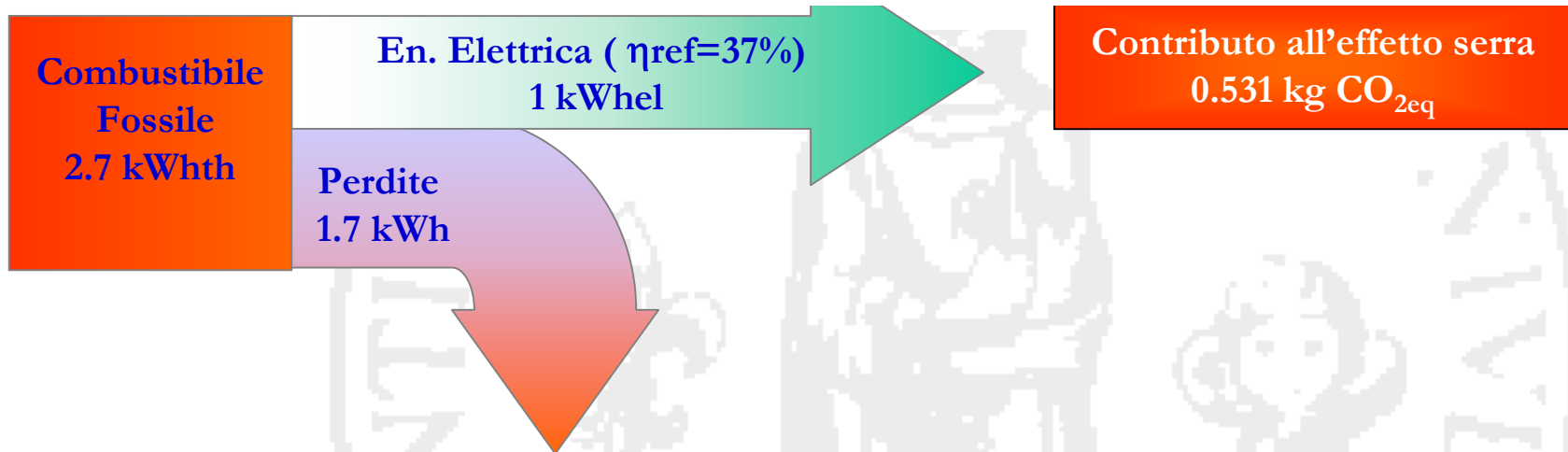
- Il traffico veicolare in condizioni normali di circolazione nel tunnel è sufficiente, per effetto pistone, a garantire il flusso di aria da portale a portale necessario a contenere le concentrazioni di inquinanti.
- Considerando una sola canna della galleria, le emissioni sono diluite in una portata d'aria che mediamente può essere considerata di circa 410 m³/s, considerando il valore della sezione frontale e la velocità media dell'aria di circa 3 m/s.

Portata trattata

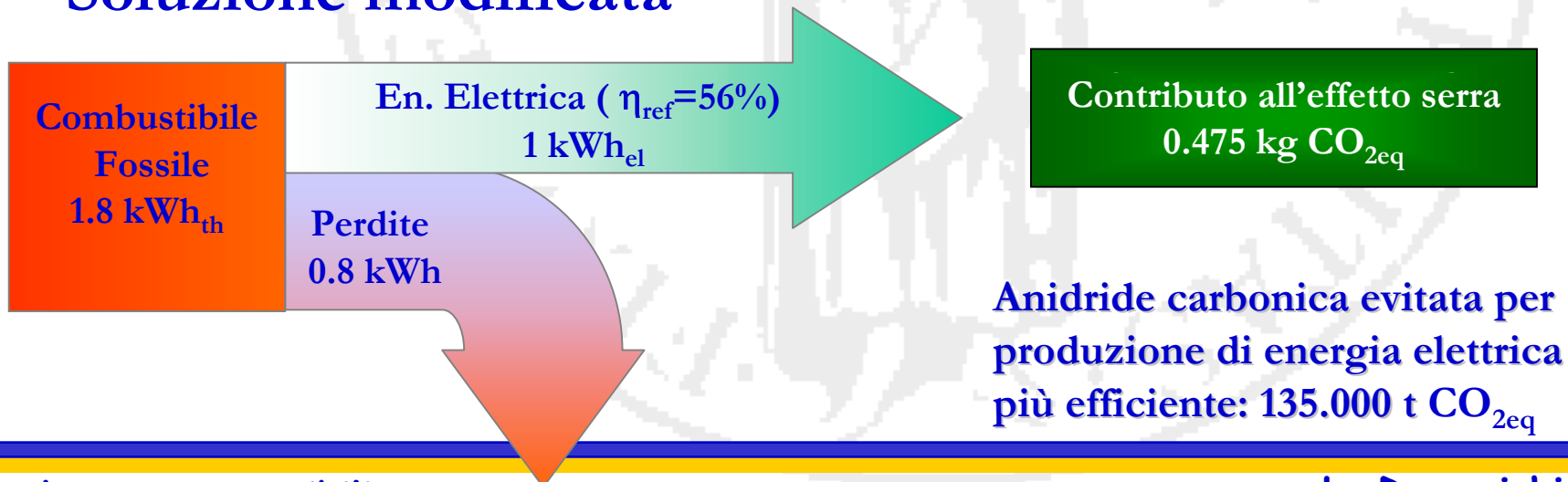
- La portata di diluizione di una canna può essere interamente aspirata dalla turbina a gas e subire il lavaggio termico.
- Emissioni evitate:
 - CO_{2eq} evitata: 1.215 t
 - CO: 460 t
 - Idrocarburi Incombusti (HC): 59 t
 - Composti organici volatili (VOC): 39 t
 - Particolato: 257 t

Confronto prod. energia elettrica

- Soluzione esistente



- Soluzione modificata



Confronto inquinamento localizzato

- Soluzione esistente
- Soluzione modificata

Traffico
in galleria

CO₂, NO_x
81710 t

HC, VOC, CO
1120 t

Particolato
520 t

Traffico
in galleria

CO₂, NO_x
81710 t

HC, VOC, CO: 560 t
Particolato: 260 t

Part.: 260 t
HC, VOC,
CO: 560 t

Lavaggio
Termico

Contributo complessivo
all'effetto serra 140.000 t CO_{2eq}
(2500 t CO_{2eq} da CO, HC,
VOC)

Gas clima-alteranti evitati: 1225 t CO_{2eq}
Particolato evitato: 260 t

Conclusioni

- Produzione di energia elettrica mediante sistemi ad alta efficienza integrati con l'abbattimento di alcune delle sostanze inquinanti prodotte dal traffico
- La soluzione integrata proposta, apre una prospettiva di progettazione strategica degli interventi antropici mirata all'ottimizzazione combinata sia degli aspetti energetici che di quelli ambientali
- Possibili sviluppi concettuali considerando la cogenerazione termica con utenze prossime all'installazione