



Unione europea



REGIONE
LAZIO



ReMInD – Reverse Manufacturing Innovation Decision System

Progetti@IASI

18/05/2021

Speakers: Giuseppe Stecca, Diego Maria Pinto

Sommario

- Economia Circolare
- Progetto
- Follow-up

Economia Circolare

- Sustainable Development
- Environmental quality
- Economic prosperity
- Social equity
- Future Generations (time dimension)
- Linear Economy
- **Circular Economy**
- **Performance Economy**

Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M., Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions, Resources, Conservation and Recycling, 127, 221-232, 2017.

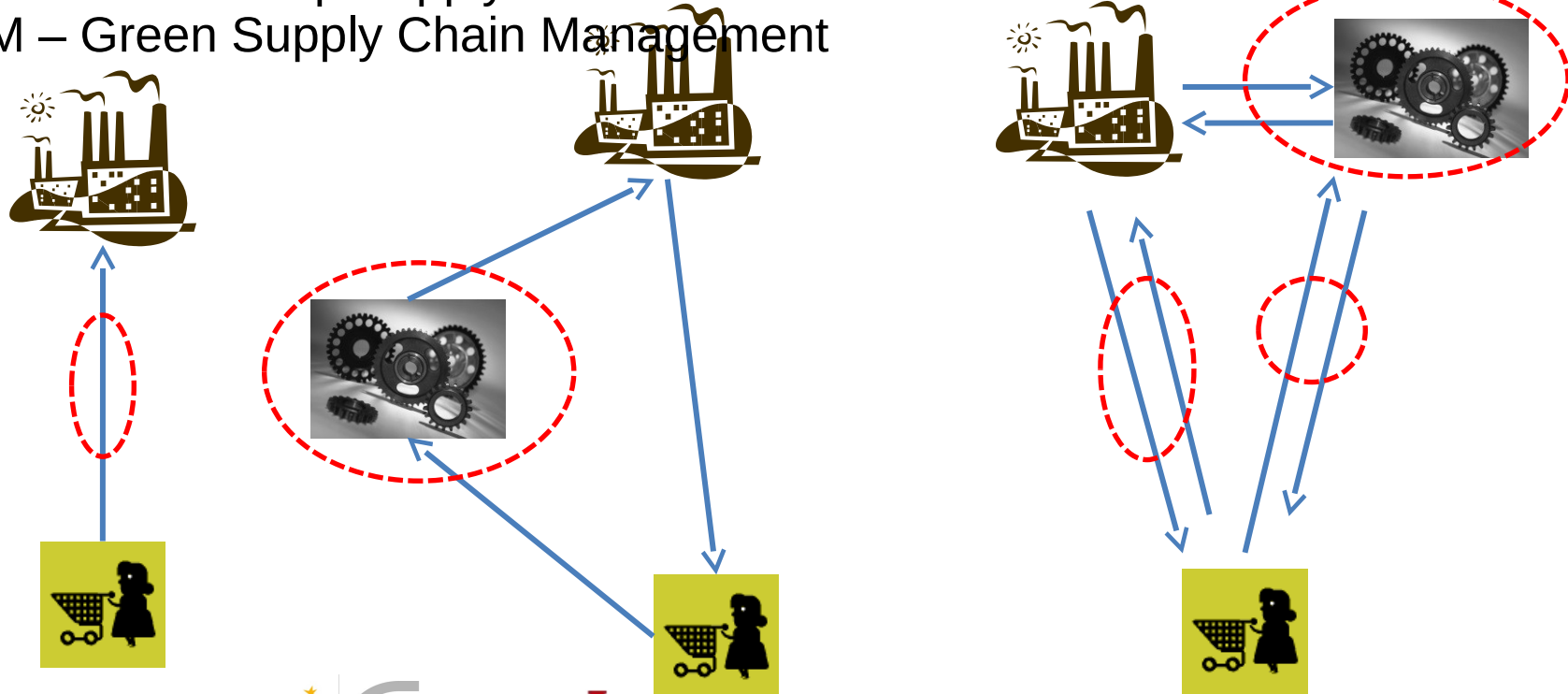
Economia circolare e supply chain management

RL – Reverse Logistics

PR – Product Recovery

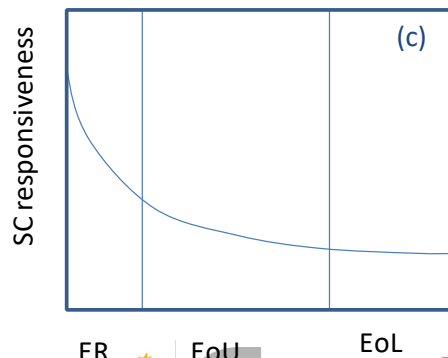
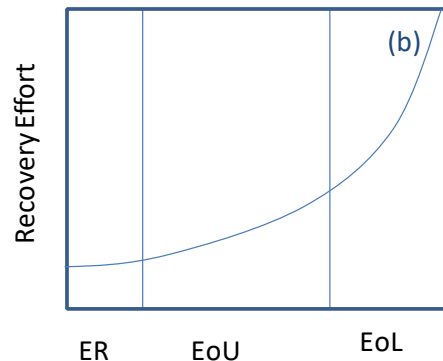
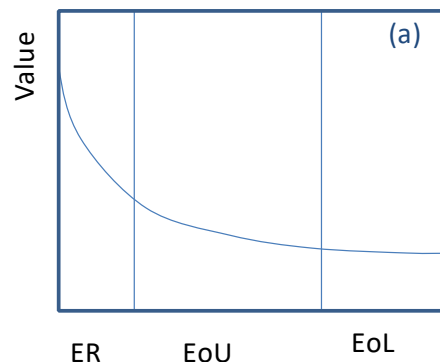
CLSC – Closed Loop Supply Chain

GSCM – Green Supply Chain Management



Economia circolare e supply chain management

- Integrazione tra product lifecycle e reverse logistics: responsive supply chains



Trend of product value (a), recovery effort (b), and Supply Chain responsiveness (b) for early returns (ER), end of use (EoU) returns, and end of life (EoL) returns.

Progetto Remind: Bando e Partenariato

- Bando POR FESR 2014-2020 Regione Lazio “Circular Economy ed Energia”
- partners:



Lo scopo del progetto

- Il progetto ReMInD (Reverse Manufacturing Innovation Decision System), intende integrare ed ottimizzare i sistemi di produzione che sottendono la circular economy ed in particolare i processi di raccolta, produzione inversa e distribuzione dei materiali plastici, sia a livello strategico che tattico/operativo.

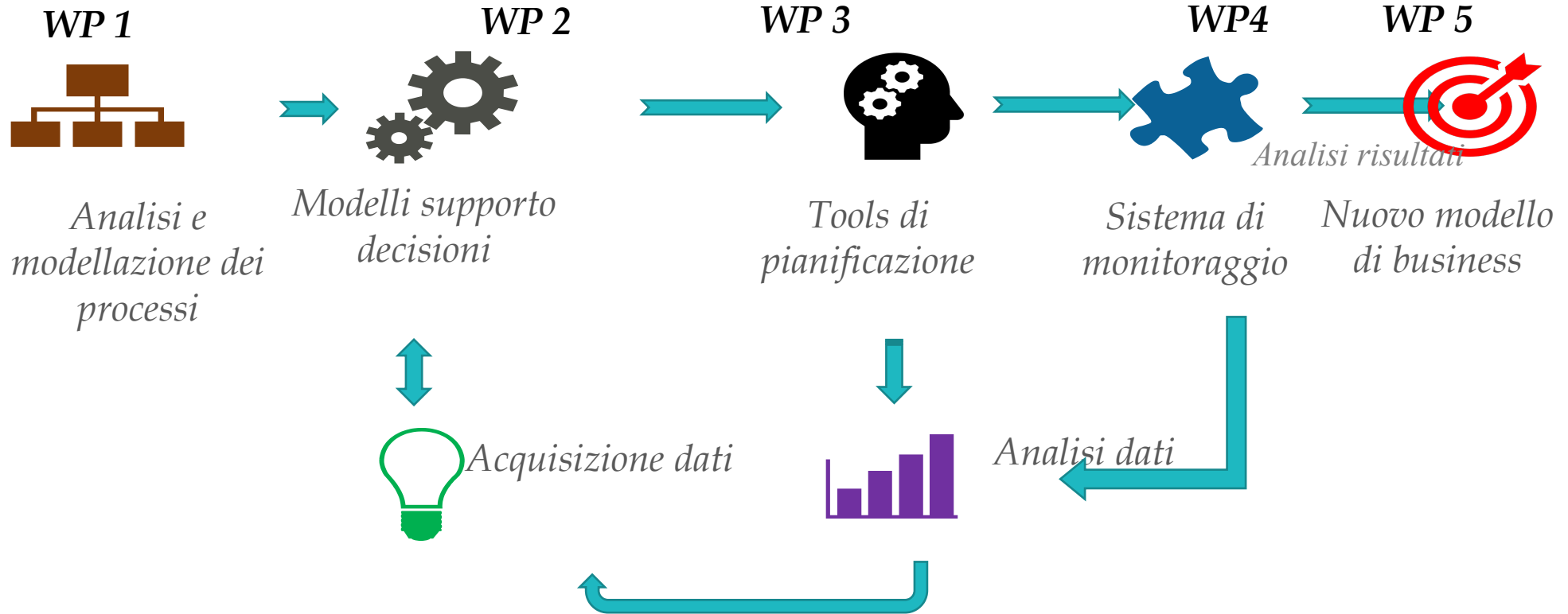
Problematiche e azioni

- Incertezza nella profittabilità: quantità, qualità, tempi
- Come assegnare le tariffe e come calcolare i costi (es. alta variabilità dei prezzi delle materie prime seconde)
- Come programmare la raccolta, come programmare la selezione
- Come rispondere alle normative
- Azioni
 - Tecnologia di tracciamento
 - Uso di metodi ottimizzazione, statistica e management science per supportare le decisioni del management

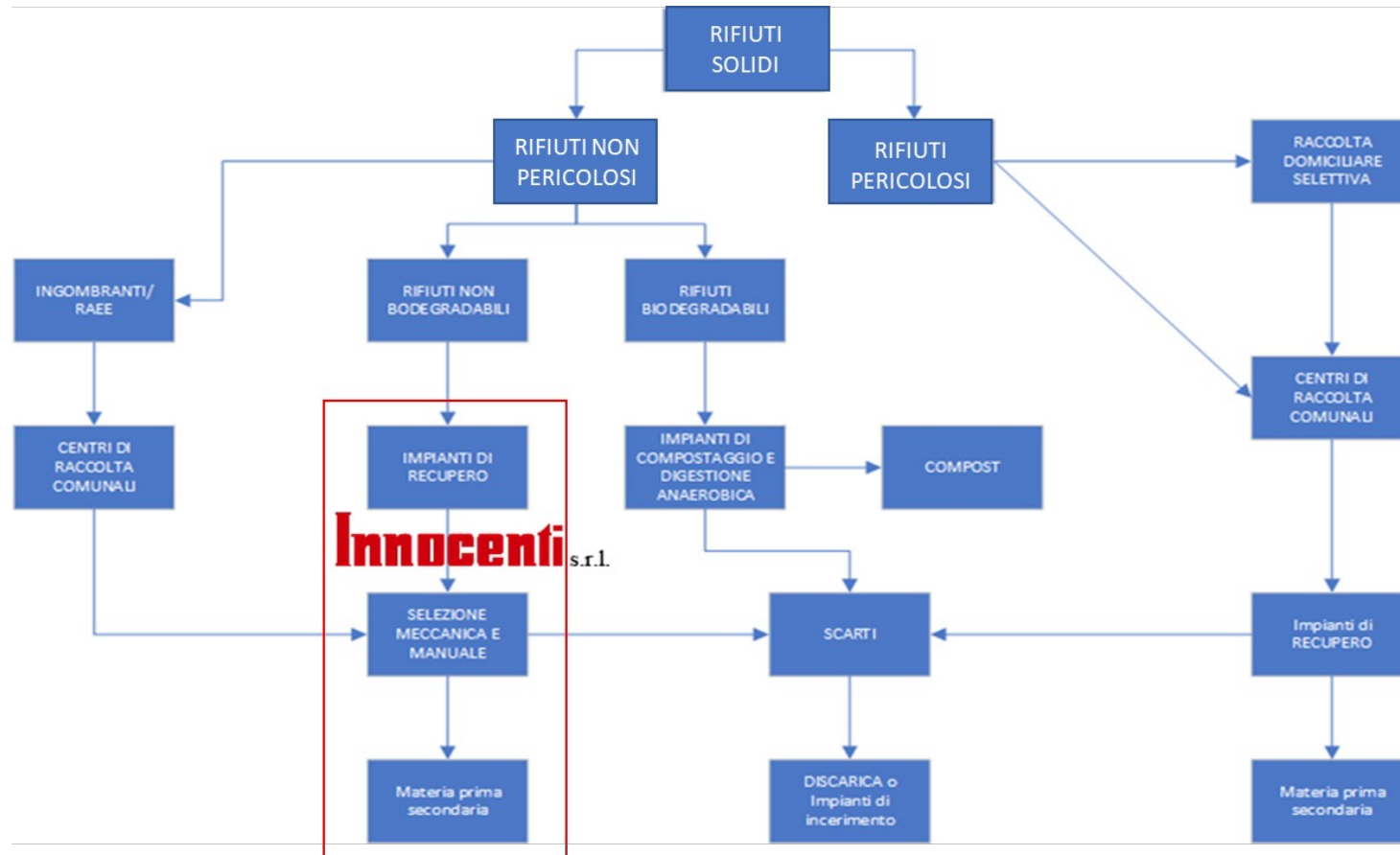
Obiettivi Realizzativi

- OR1 – Analisi e modellazione dei processi (ricerca industriale)
- OR2 – progettazione del modello di supporto alle decisioni strategiche (ricerca industriale)
- OR3 – Progettazione del sistema di integrazione tra logistica e produzione inversa (ricerca industriale)
- OR4 – Sistema di monitoraggio e controllo (sviluppo sperimentale)
- OR5 – Analisi dei risultati e nuovo modello di gestione (sviluppo sperimentale)

REMIND



OR 1 - L'azienda



OR1 - Normativa

- Catalogo Europeo dei Rifiuti (CER)
 - Classe”: individua l’attività da cui è stato prodotto il rifiuto (es 15 imballaggio);
 - “Sottoclasse”: identifica il processo produttivo da cui proviene il rifiuto (es 01 imballaggi generici);
 - “Categoria”: fornisce una descrizione dettagliata del rifiuto (es 06 materiali misti).

OR1 - Normativa

- FIR, Formulario di Identificazione dei Rifiuti
- Modello Unico di Dichiarazione ambientale (MUD)
- Registro di Carico e Scarico dei rifiuti

Innocenti s.r.l.
RECUPERO AMBIENTALE

Sede Legale: 01028 Orte Scalo (VT) - S.S. 315 km. 10
Sede Operativa ed Impianto: 00010 Villa Adriana - Tivoli (RM)
Via Nat. Tiburtina, 156 - Tel. 077459301 - Fax 07745930300

ACCREDITATA
Sede Operativa ed Impianto: 00010 Villa Adriana - Tivoli (RM)
Via Nat. Tiburtina, 156 - Tel. 077459301 - Fax 07745930300

Serie e Numero: **XRIF 1160183** /18
Data emissione formulario: **31-01-2019**

Formulario
NUMERO
REGISTRO

(1) Produttore/Detentore:
unità locale: **BRT SPA**
Via **CASAL BIANCO 119**
Codice Fiscale: **00012 GUIDONIA MONTECELIO(RM)**
N. Aut./Abc: **04507990150** del

(2) Destinatario:
Innocenti SRL
Via **TIBURTINA 156**
Codice Fiscale: **00019 TIVOLI(RM)**
N. Aut./Abc: **07455850581** del **19-01-2016**

(3) Trasportatore del rifiuto:
Innocenti SRL
Indirizzo: **S.S. 315 KM.10**
Codice Fiscale: **01028 ORTE(VT)**
N. Aut./Abc: **07455850581** del **14-04-2017**

Trasporto di rifiuti non pericolosi
prodotti nel proprio stabilimento di

Annotazioni:

(4) Caratteristiche del rifiuto:
Descrizione: **MBALLAGGI IN MATERIALI MISTI**
Codice Europeo: **150106** /
Stato fisico: **2 Solido non pulverulento** 1 X2 3 4
Caratteristiche di pericolo:
N. colli / Contenitori: **00001** /

(5) Rifiuto destinato a: **Recupero** Codice: **R13** [Recupero smaltimento]
Caratteristiche chimico-fisiche:

(6) Quantità (Kg o litri) **30000 Lt** (P. lordo) Tara ☐ Peso da verificare a destino

(7) Pericolo (se diverso dal più breve)

(8) Trasporto sottoposto a normativa ADR/RID: **NO** (SI - NO)

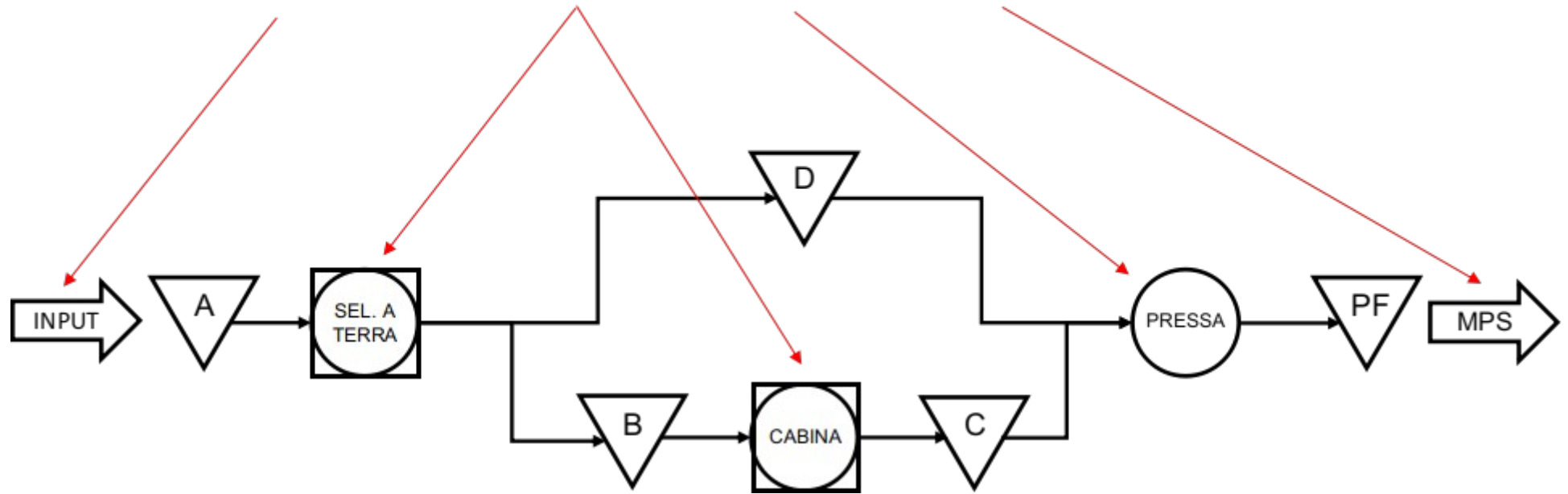
FIRMA DEL PRODUTTORE / DETENTORE
FIRMA DEL TRASPORTATORE

(9) FIRME
PRODUTTORE / DETENTORE
TRASPORTATORE

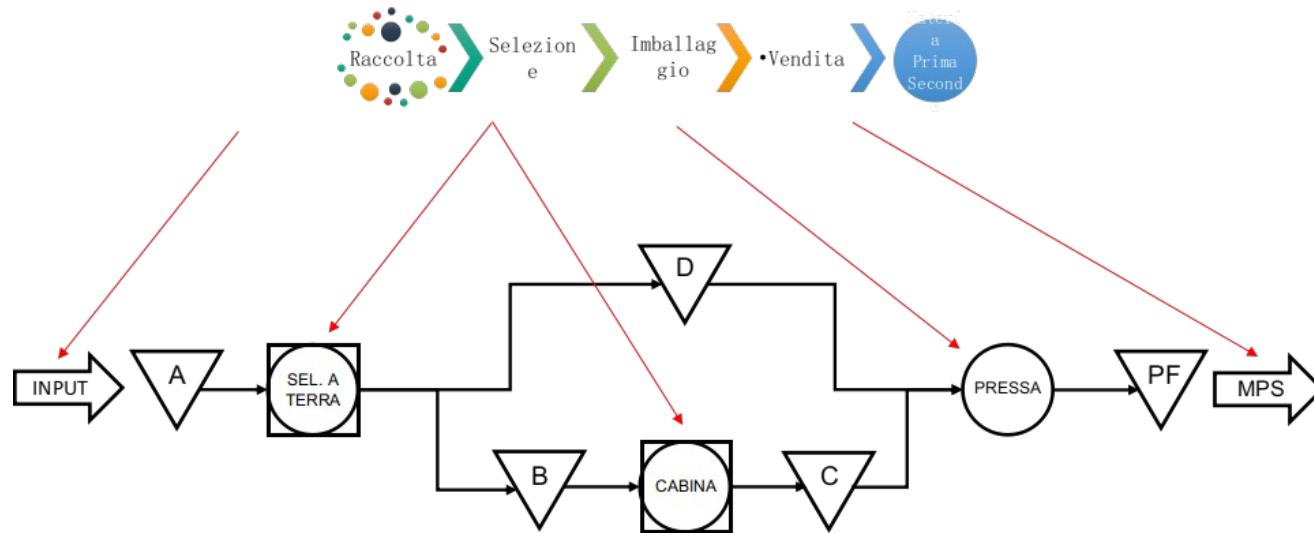
(10) Cognome e Nome conducente: Inizio trasporto: Data Ora:
Targa autorizzata: Rimorchio:

SPAZIO PER LA VERIFICAZIONE
(11) RISERVATO AL DESTINATARIO
☐ Accettato per intero
☐ Accettato per la seguente quantità: **Li** **Kg**
☐ Respinto per le seguenti motivazioni:
DATA ORA FIRMA DESTINATARIO

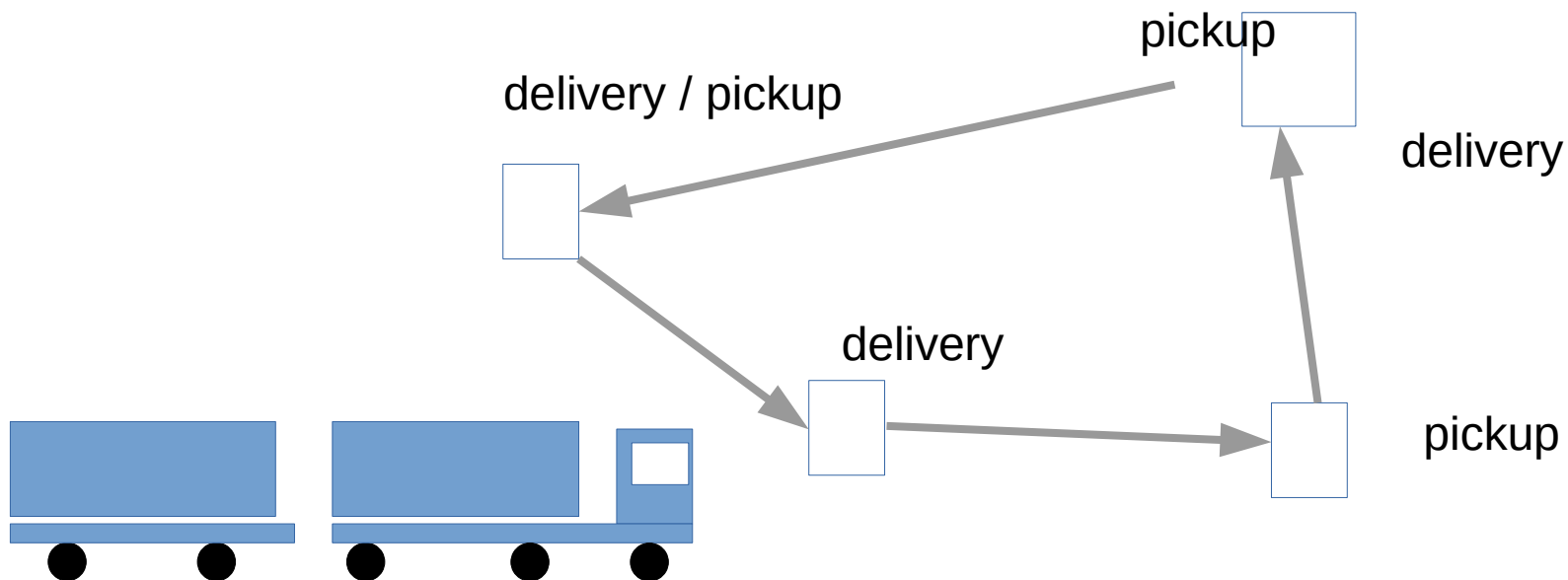
OR1 – Processo - selezione



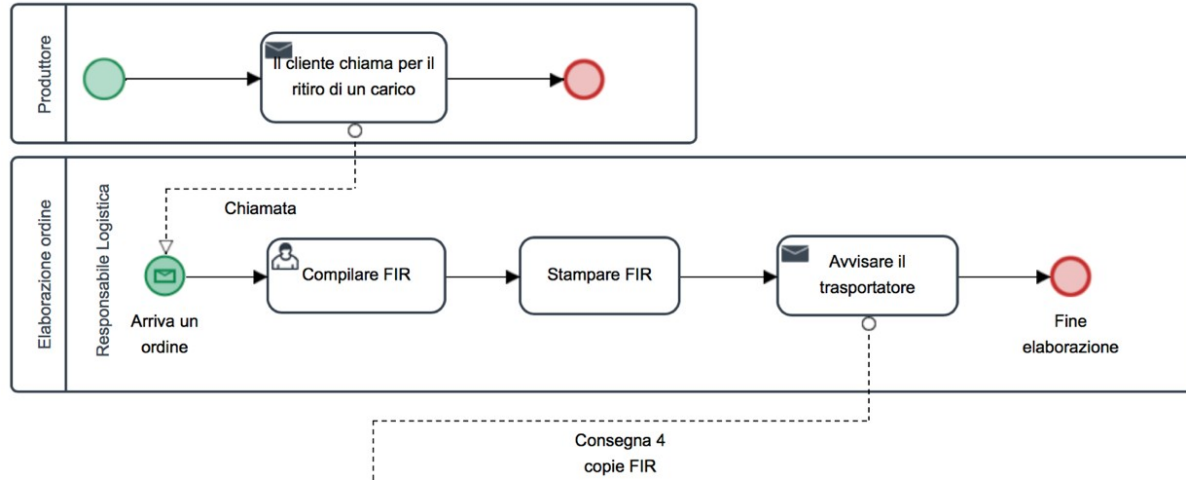
OR1 – Processo - selezione



Il processo di raccolta

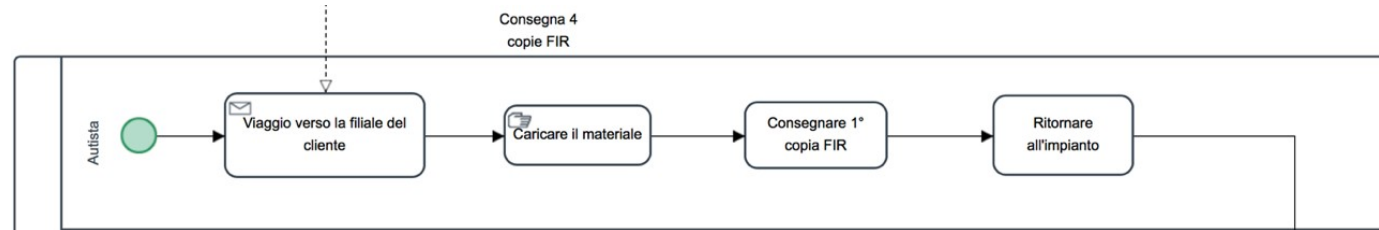


OR1 - Processo

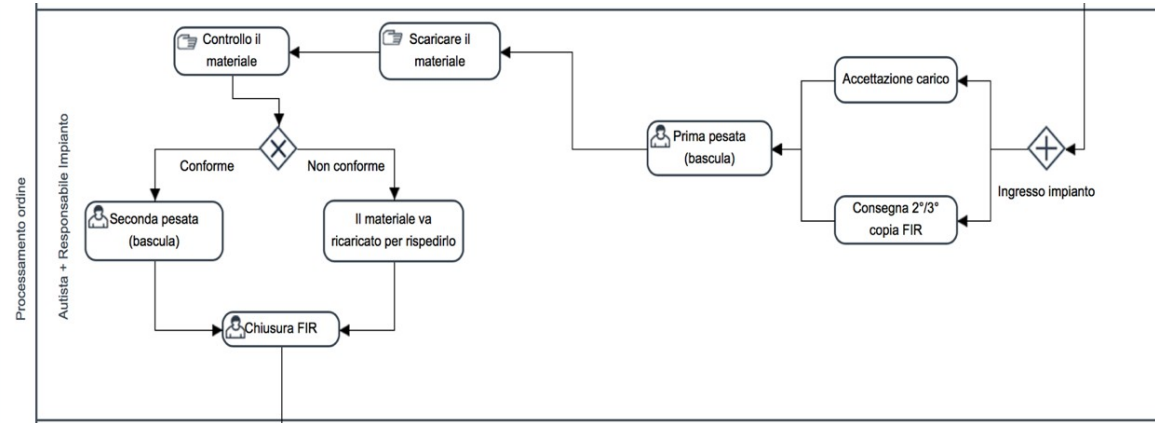


Ricevimento Ordine

Trasporto

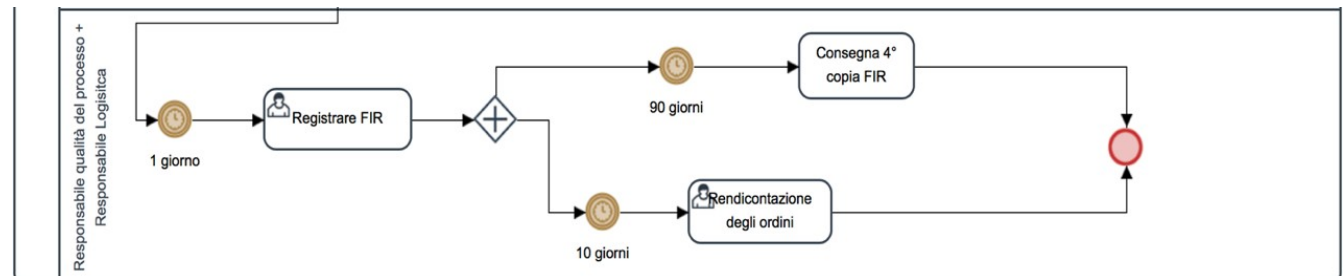


OR1 - Processo



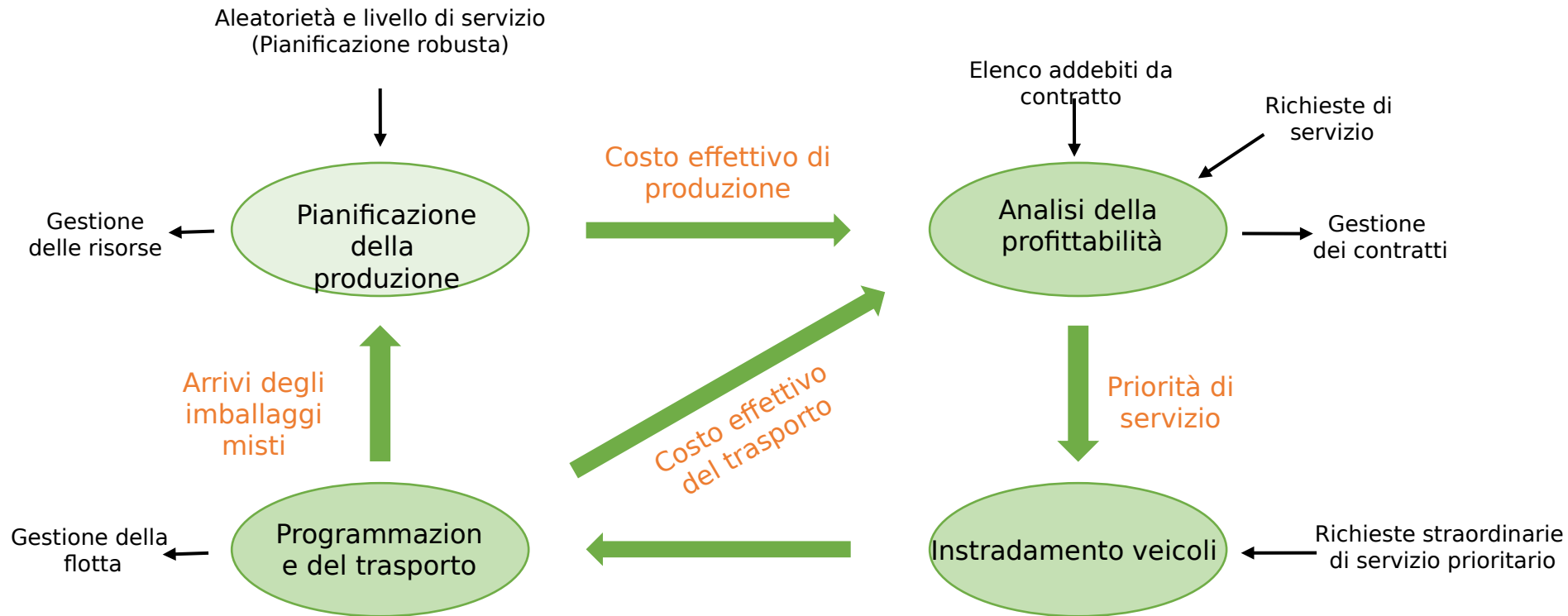
Scarico in impianto

Chiusura ordine



OR2 – Progettazione del Sistema di supporto alle decisioni

Processo decisionale



Decisioni, decisori e driver di costo ricavo

- Costo operatori per la selezione / tempo ciclo
- Ingombro piazzale
- Costo veicolo / autisti - Distanza percorsa / tempo uscita
- Localizzazione commessa / Impianto di conferimento
- Composizione Rifiuto
- Qualità Rifiuto (es. corpi estranei)
- Sovvallo
- Qualità / prezzo materia prima seconda (variabilità)
- Controllo formulario

Dati raccolti

- Sigla_cliente
- Codice_prodotto
- Unità locale
- Codice_Cliente
- Data
- Nr. Formulario
- Trasportatore
- CER
- Quantità (kg)
- Tempo 1° selezione
- Numero operatori 1° selezione
- Peso destinato a 2° selezione
- Tempo 2° selezione
- Numero operatori 2° selezione

- % di Foglia
- % di Ferro
- % di Cartone
- % di Carta
- % di PET
- % di Plastica dura
- % di Legno
- % di Sovvallo
- Costo trasporto
- Prezzo trasporto
- Costo smaltimento
- Prezzo smaltimento
- Valore Merce
- Ricavo/Costo Commessa

Dati per analisi profittabilità

Data Registrazione Doc.

NumFiscale

C.E.R.

Peso netto.

Volume

Ragione Sociale Cliente

Ragione Sociale Produttore

Indirizzo unità locale produttore

indirizzo unità locale smaltitore

Trasportatore

Targa motrice

Targa rimorchio

Data Inizio Trasporto

Ora inizio Trasporto

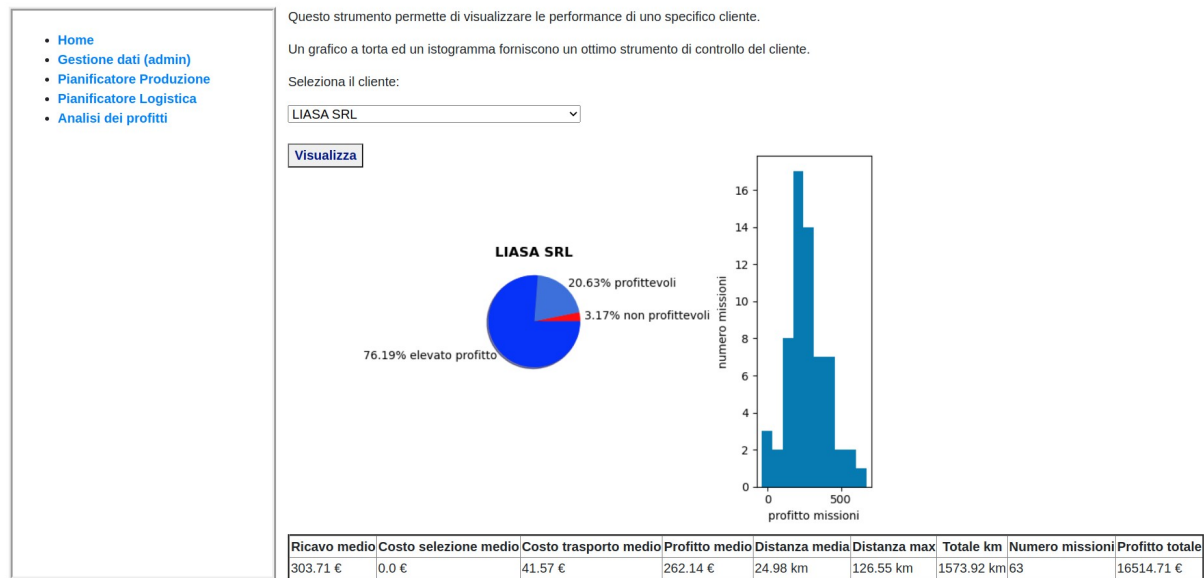
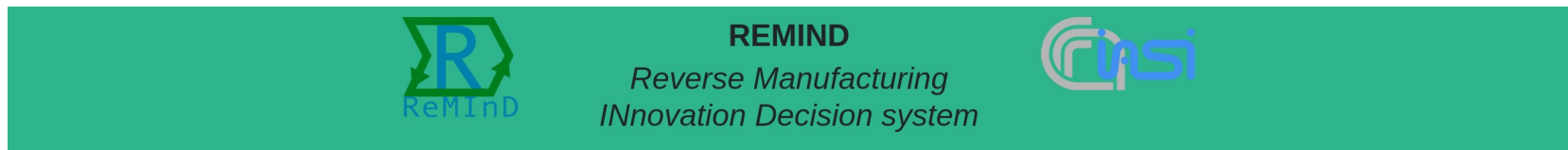
Data Fine Trasporto

Ora Fine Trasporto

- Causale Addebito_1
- Prezzo Addebito_1
- Importo Addebito_1
- Causale Addebito_2
- Prezzo Addebito_2
- Importo Addebito_2
- Causale Addebito_3
- Prezzo Addebito_3
- Importo Addebito_3
- Latitudine origine trasporto
- Longitudine origine trasporto
- Latitudine fine trasporto
- Longitudine fine trasporto
- distanza trasporto
- tempo trasporto
- costo trasporto

Profittabilità

- @ Diego



OR3 – Produzione inversa e logistica

- 1) Modello di ottimizzazione delle operazioni di riciclo
- 2) Modello di ottimizzazione delle attività logistica

Modello ottimizzazione operazioni di riciclo - parametri

- $j = \{1, .. J\}$ stazioni di Selezione
- $p = \{1, .., P\}$ turni
- $t = \in \{1, ... T\}$ orizzonte di pianificazione (scomposto in turni)
- C_t costo operatore al tempo t ; $C_t = C \sigma_t$; σ_t ore di lavoro per turno t , C costo orario.
- f_j costo avvio stazione di selezione j
- a_t quantità materiale da selezionare in arrivo al periodo t
- α_j frazione di materiale processato nello stage $j - 1$ e diretta allo stage j
- S_j massima occupazione buffer j
- ρ_j frazione di materiale massima che si intende lasciare a fine pianificazione stazione j
- K_j capacità produttiva [kg/h] oraria per operatore stazione j
- $SK_{j,t} = K_j \sigma_j$ capacità sorting stazione j tempo t
- M massimo numero di operatori disponibili per ogni turno
- E_j minimo numero di operatori per turno, stazione j
- de^i_j pendenza i -esima curva di linearizzazione costo inventario stazione j

Modello ottimizzazione operazioni di riciclo - variabili

- x_{jt} intero ≥ 0 Numero di operatori impiegati nella stazione j al tempo t
- $u_{jt} \geq 0$ Quantità processata alla stazione j , tempo t
- $y_{jt} \in \{0,1\}$: 1 se la stazione j è attivata 0 altrimenti
- $I_{jt} = I'_{jt} + I''_{jt} \geq 0$ livello inventario buffer j tempo t
- $w_{jt} \in \{0,1\}$: variabili di linearizzazione = 1 se $I''_{jt} \geq 0$

Modello ottimizzazione operazioni di riciclo – f.o.

$$\min Z = \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} C_t x_{j,t} + \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} f_j y_{j,t} + \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \left(\partial h_j^1 I'_{j,t} + \partial h_j^2 I''_{j,t} \right) \quad (1)$$

Modello ottimizzazione operazioni di riciclo – vincoli

$$E_j y_{j,t} \leq x_{j,t} \leq M y_{j,t} \quad \forall j \in J, t \in T_p, p \in P \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_{j,t} \leq M \quad \forall t \in T \quad (3)$$

$$u_{j,t} \leq SK_{j,t} x_{j,t} \quad \forall j \in J, t \in T \quad (4)$$

$$I_{1,t} = I_{1,t-1} + a_t - u_{1,t} \quad \forall t \in T \setminus 0 \quad (5)$$

$$I_{j,t} = I_{j,t-1} - u_{j,t} + \alpha_j u_{j-1,t} \quad \forall t \in T \setminus 0, j \in J \setminus 1 \quad (6)$$

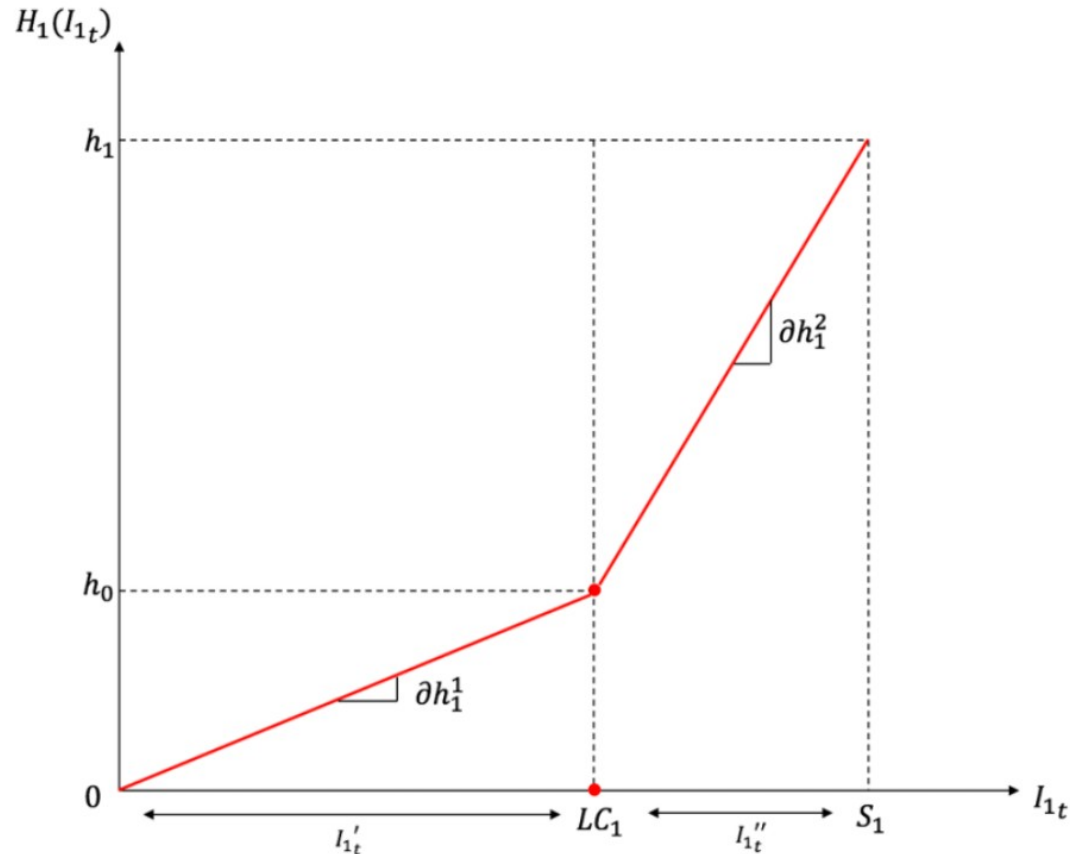
$$I_{j,t} = I'_{j,t} + I''_{j,t} \quad \forall j \in J, t \in T \quad (7)$$

$$LC_j w_{j,t} \leq I'_{j,t} \leq LC_j \quad \forall j \in J, t \in T \quad (8)$$

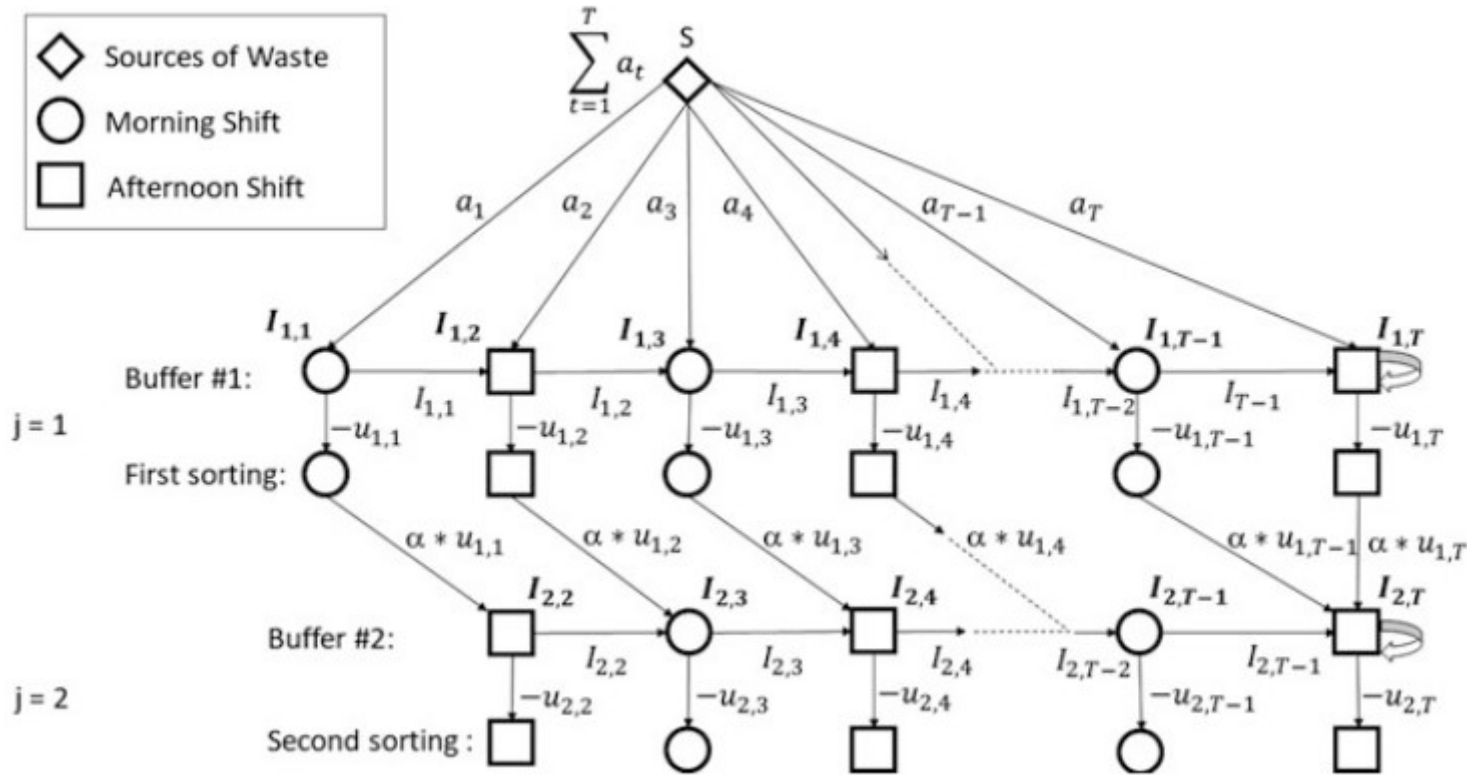
$$0 \leq I''_{j,t} \leq (S_j - LC_j) w_{j,t} \quad \forall j \in J, t \in T \quad (9)$$

$$I_{j,T} \leq \rho_j LC_j \quad \forall j \in J \quad (10)$$

Modello ottimizzazione operazioni di riciclo

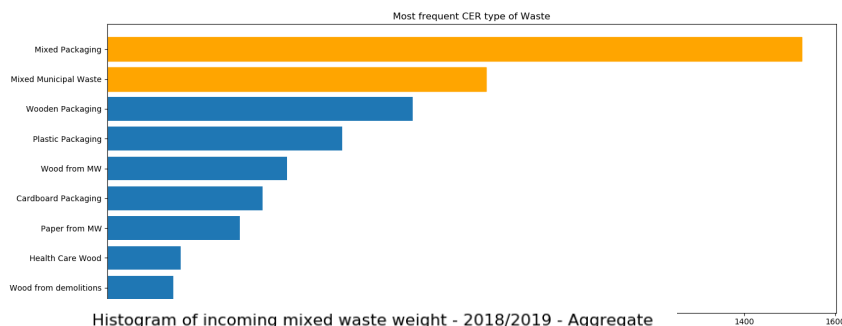


Modello ottimizzazione operazioni di riciclo

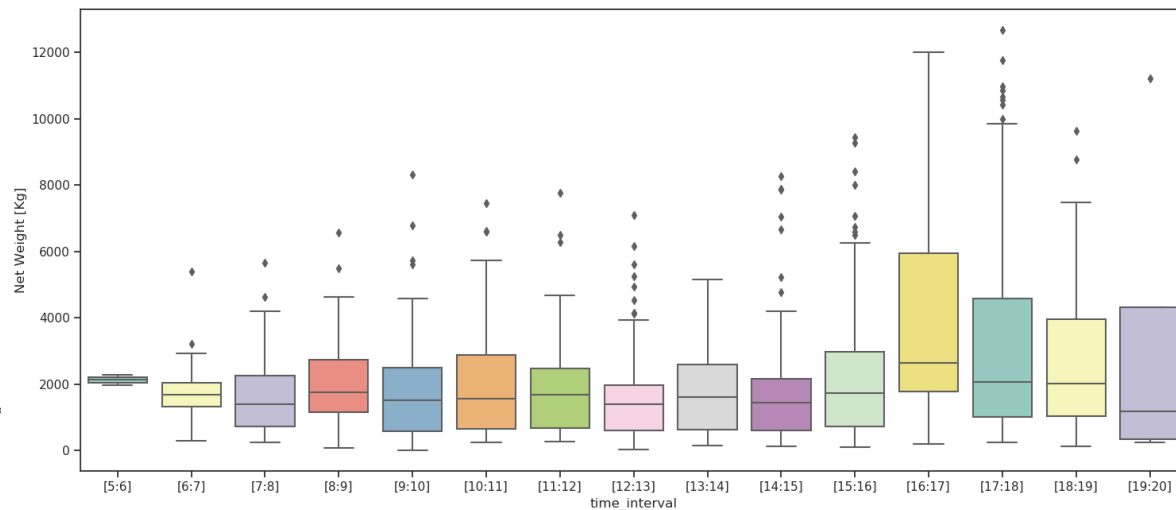
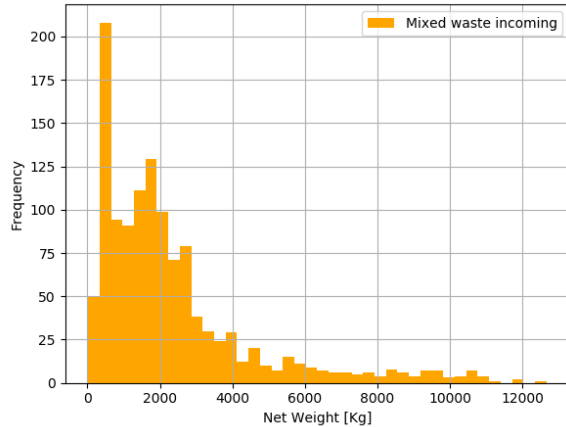


- Implementato in python con librerie GUROBI e MIP (CBC)
- NP

analisi e parametrizzazione



Histogram of incoming mixed waste weight - 2018/2019 - Aggregate



@Diego

Modello di ottimizzazione delle attività logistica - parametri

- n clienti
- $G = (N, A = N \times N)$, origine 0, destinazione $2n+1$
- $N = Nodes = P \cup D \cup Od$; $P = \{1, .. n\}$; $D = \{n+1, .., 2n\}$; $Od = \{0, 2n+1\}$
- cliente i richiede un pickup di quantità d_i al nodo i ed un delivery al nodo $i+n$
- $l_i = d_i$; $l_{(n+i)} = -d_{(n+i)}$
- k veicoli
- C_k Capacità veicolo k
- $[a_i, b_i]$ finestra temporale di apertura cliente i
- c_{ij} costo attraversamento arco i,j
- s_i tempo di servizio al cliente i
- q massimo numero di stop per ogni veicolo k
- R massima durata tour
- $D_{or} = D \cup 0$; $N_{or} = N \cup 0$; $P_{dest} = P \cup \{2n+1\}$; $N_{dest} = N \cup \{2n+1\}$;

Modello di ottimizzazione delle attività logistica - variabili

- x_{ijk} in $\{0,1\}$ 1 se l'arco i,j è attraversato dal veicolo k , 0 altrimenti
- L_{ik} intero ≥ 0 livello di carico veicolo k dopo aver servito il cliente i
- $T_{ik} \geq 0$ tempo di arrivo del veicolo k al cliente (nodo) i
- cliente i richiede un pickup di quantità d_i al nodo i ed un delivery al nodo $i+n$
- X_{ij} in $\{0,1\}$ 1 se l'arco i,j è attraversato

Modello di ottimizzazione delle attività logistica f.o.

$$\min \sum_{k=1}^{|K|} \sum_{i=0}^{2n+1} \sum_{j=0}^{2n+1} c_{i,j} x_{i,j,k}$$

Modello di ottimizzazione delle attività logistica

$$x_{i,i,k}=0$$

$$\sum_{j \in N_{dest}, j \neq i} \sum_{k \in K} x_{i,j,k} = 1$$

$$\sum_{j \in N, j \neq i} x_{i,j,k} - \sum_{j \in N, j \neq i+n} x_{j,n+i,k} = 0$$

$$\forall i \text{ in } P, \forall k \text{ in } K$$

$$\sum_{j \in P_{dest}, j \neq i} x_{0,j,k} = 1$$

$$\forall k \text{ in } K$$

$$\sum_{i \in N_{or}} x_{i,j,k} - \sum_{i \in N_{dest}} x_{j,i,k} = 0$$

$$\forall j \text{ in } N \forall k \text{ in } K$$

$$\sum_{i \in D_{or}} x_{i,2n+1,k} = 1$$

$$\forall k \text{ in } K$$

$$\sum_{i \in N_{or}} \sum_{j \in N_{dest}} x_{i,j,k} \leq q+1$$

$$\forall k \text{ in } K$$

Modello di ottimizzazione delle attività logistica

$$T_{i,k} + s_i + t_{i,j} - T_{j,k} \leq M * (1 - x_{i,j,k}) \quad \forall i \text{ in Nodes}, \forall j \text{ in Nodes}, \forall k \text{ in } K$$

$$T_{i,k} + s_i + t_{i,j} - T_{j,k} \geq -M * (1 - x_{i,j,k}) \quad \forall i \text{ in Nodes}, \forall j \text{ in Nodes}, \forall k \text{ in } K$$

$$T_{i,k} \geq a_i \quad \forall j \text{ in Nodes}, \forall k \text{ in } K$$

$$T_{i,k} \leq b_i \quad \forall j \text{ in Nodes}, \forall k \text{ in } K$$

$$T_{i,k} + t_{i,n+i} \leq T_{i+n,k} \quad \forall i \text{ in } P, \forall k \text{ in } K$$

$$L_{i,k} + l_j - L_{j,k} \leq M * (1 - x_{i,j,k}) \quad \forall i \text{ in Nodes}, \forall j \text{ in Nodes}, \forall k \text{ in } K$$

$$L_{i,k} + l_j - L_{j,k} \geq -M * (1 - x_{i,j,k}) \quad \forall i \text{ in Nodes}, \forall j \text{ in Nodes}, \forall k \text{ in } K$$

Modello di ottimizzazione delle attività logistica

$$l_i * \sum_{j \in N, j \neq i} x_{i,j,k} \leq L_{i,k} \quad \forall i \in P, \forall k \in K$$

$$L_{i,k} \leq C_k \quad \forall i \in P, \forall k \in K$$

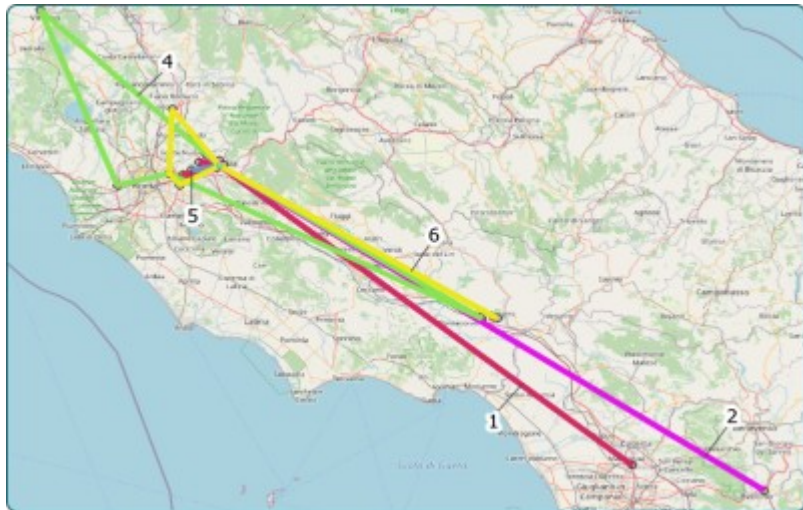
$$L_{n+i,k} \leq (C_k - l_i) * \sum_{j \in N, j \neq i} x_{i,j,k} \quad \forall i \in P, \forall k \in K$$

$$L_{0,k} = 0 \quad \forall k \in K$$

$$\sum_{i \in \text{Nodes}} \sum_{j \in \text{Nodes}, j \neq i} x_{i,j,k} * (s_i + t_{i,j}) \leq R \quad \forall k \in K$$

$$\sum_{k \in K} x_{i,j,k} = X_{i,j} \quad \forall i \in N, \forall j \in N_{\text{dest}}$$

Modello di ottimizzazione delle attività logistiche



algoritmo esatto con librerie GUROBI
algoritmo esatto con librerie MIP (CBC)
algoritmo euristico (Costruttivo)
followup: matheuristica

archi stradali: Server locale OSRM

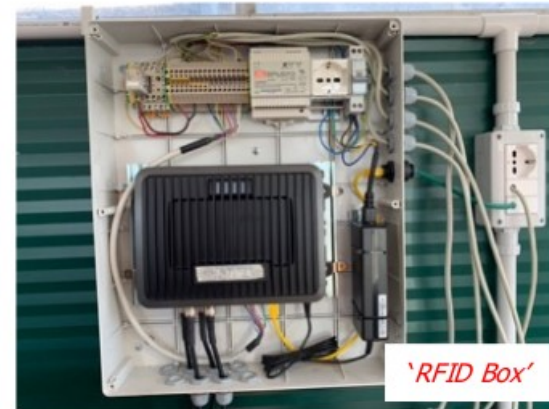
Database interno SQLite
import / export excel
Django web interface @Diego

OR 4 – Sistema di monitoraggio e controllo

- Tecnologia RFID per il tracciamento dei veicoli ai gates installati presso la bilancia
- Tecnologia basata su app / cellulare per il tracciamento delle fasi di presa in carico e completamento tracciamento cassoni all'esterno dell'azienda
- Tecnologia qrcode per il tracciamento delle balle di materia prima seconda.

RFID

- compatibilità con Cassoni



RFID

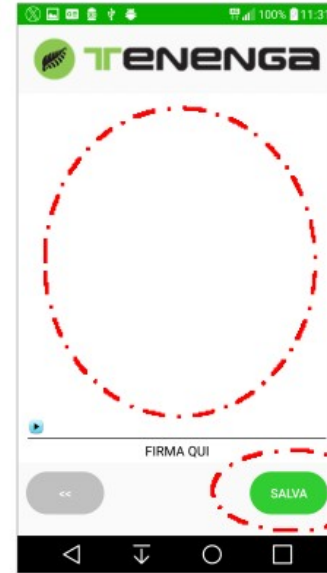
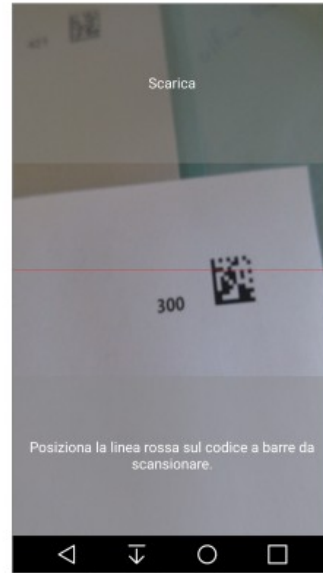
- @Andrea
- compatibilità con Cassoni



App mobile

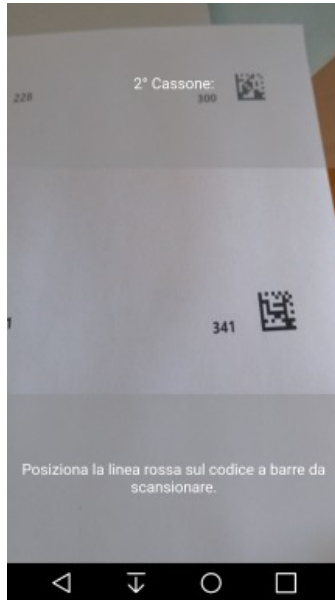
- Funzionalità principali
 - USCITA: composizione del camion, con la selezione di targa, formulari e cassoni.
 - SOSTITUZIONE: scarico di un cassone vuoto presso il cliente.
 - CARICO: carico sul camion di un cassone pieno.
 - CONFERIMENTO: svuotamento di un cassone pieno di rifiuti presso un destinatario.
 - RIENTRO: rientro del camion in Innocenti e suo scarico.
 - ALTRO: altre operazioni fuori dal normale flusso di lavoro.

App mobile



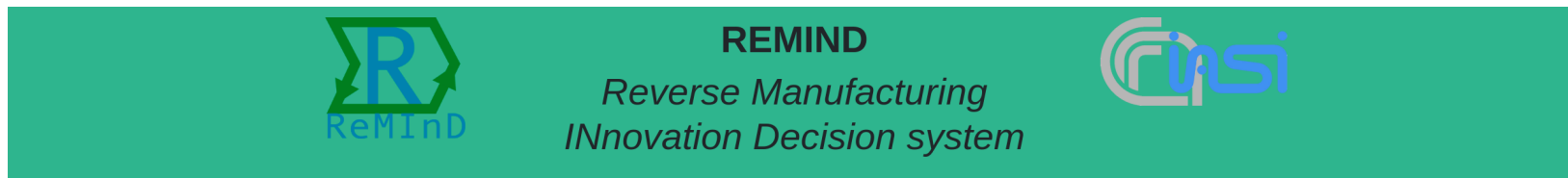
QRcode

- app mobile per acquisire codice RFID tramite smartphone
- terminale “palmare” tracciamento balle



Dimostratore IASI

- <http://remind.iasi.cnr.it/2021/01/27/webapp-video-dimostrativo/>



- [Home](#)
- [Gestione dati \(admin\)](#)
- [Pianificatore Produzione](#)
- [Pianificatore Logistica](#)
- [Analisi dei profitti](#)

Seleziona il periodo di cui vuoi conoscere la programmazione ottimale delle attività di selezione

Inizio programmazione: 04/05/2021

Fine programmazione : 04/10/2021

Soluzione ottima:

Data	Turno	1a selezione	2a selezione	operatori 1a sel.	operatori 2a sel.	Quantità 1a sel.	Quantità 2a sel.
05/04/2021	mattina	attivata	-	8	0	12480	0
05/04/2021	pomeriggio	attivata	-	8	0	6240	0
06/04/2021	mattina	attivata	-	8	0	12480	0
06/04/2021	pomeriggio	-	attivata	0	8	0	5280
07/04/2021	mattina	attivata	-	8	0	12479	0
07/04/2021	pomeriggio	attivata	-	8	0	6240	0
08/04/2021	mattina	attivata	-	8	0	11200	0
08/04/2021	pomeriggio	-	attivata	0	8	0	5280
09/04/2021	mattina	attivata	-	8	0	12480	0
09/04/2021	pomeriggio	-	attivata	0	8	0	5280
10/04/2021	mattina	attivata	-	8	0	12480	0
10/04/2021	pomeriggio	attivata	-	8	0	6240	0

Dimostratore IASI

Soluzione ottima:

Automezzo: **EH945FY FG430TY** Rotta ottima:

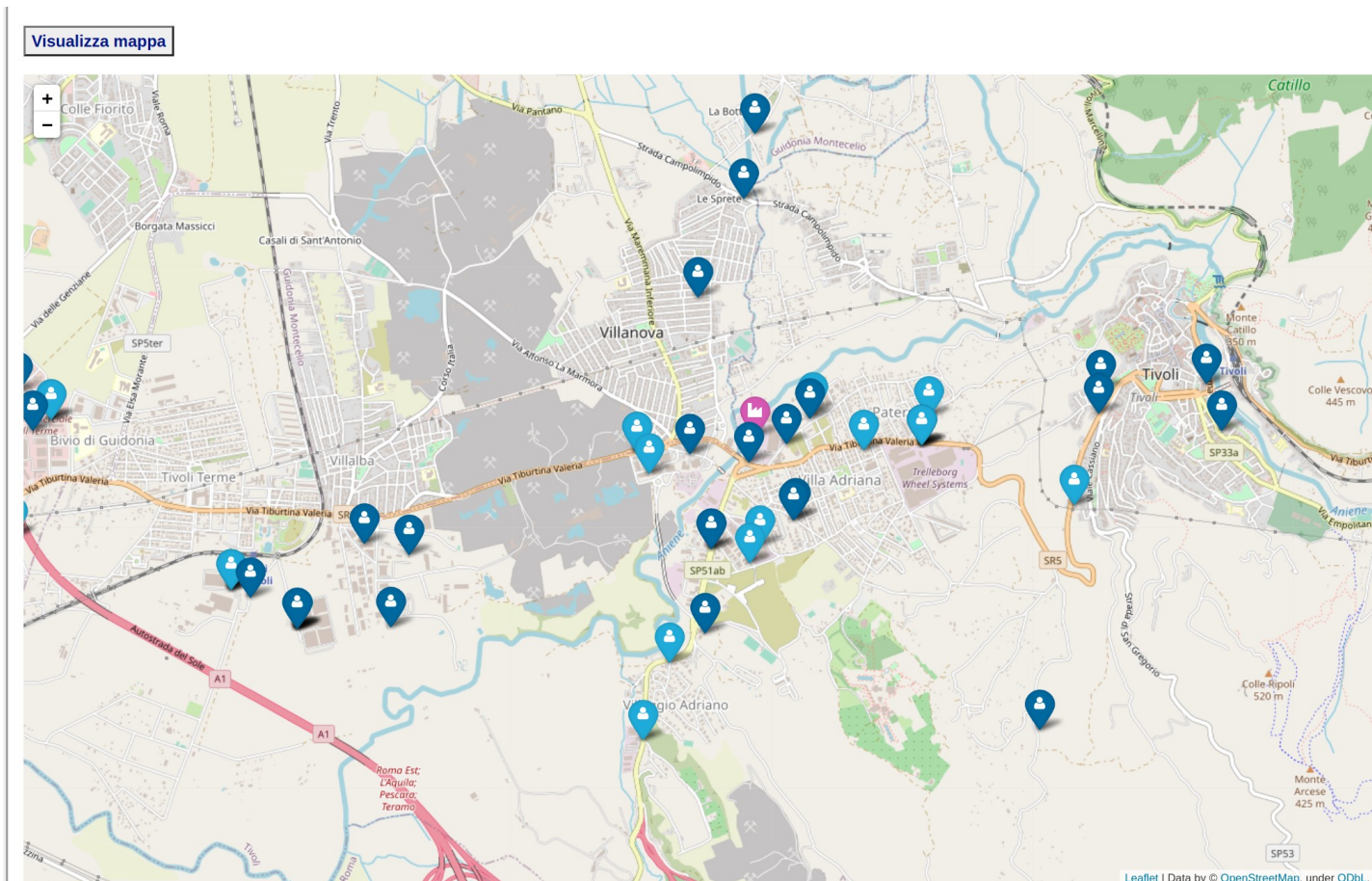
Ordine di visita	Nome Destinazione	Latitudine	Longitudine	Carico/Scarico	Orario di arrivo	Orario di partenza	Carico alla partenza
0	Innocenti	41,9555	12,7641	0		08:57:00	0
1	TRELLEBORG WHEEL SYSTEMS ITALIA SPA	41,956518	12,778633	2	09:01:00	09:31:00	2
2	Innocenti	41,9682276	12,6867695	-2	09:52:00	10:22:00	0
3	S.D.M. S.R.L.	41,9562262	12,7626418	2	10:30:00	11:00:00	2
4	Innocenti	41,9682276	12,6867695	-2	11:18:00	11:48:00	0
5	LIASA SRL	41,9761	12,7645	2	11:55:00	12:55:00	2
6	Innocenti	41,9682276	12,6867695	-2	14:52:00	15:22:00	0
7	BRT SPA	42,1320716	12,5839994	1	15:55:00	16:10:00	1
8	LIASA SRL	41,9761	12,7645	1	17:00:00	17:30:00	2
9	Innocenti	41,9682276	12,6867695	-1	18:51:00	19:05:00	1
10	Innocenti	41,9682276	12,6867695	-1	19:00:00		

Automezzo: **FL372FW CF878SR** Rotta ottima:

Ordine di visita	Nome Destinazione	Latitudine	Longitudine	Carico/Scarico	Orario di arrivo	Orario di partenza	Carico alla partenza
0	Innocenti	41,9555	12,7641	0		08:57:00	0
1	TRELLEBORG WHEEL SYSTEMS ITALIA SPA	41,956518	12,778633	2	09:01:00	09:31:00	2
2	Innocenti	41,9682276	12,6867695	-2	09:52:00	10:22:00	0
3	BRT SPA	42,1320716	12,5839994	1	10:55:00	11:10:00	1
4	BRT SPA	42,1320716	12,5839994	1	15:26:00	15:41:00	2
5	Innocenti	41,9682276	12,6867695	-1	16:22:00	16:37:00	1
6	Innocenti	41,9682276	12,6867695	-1	16:32:00	16:47:00	0
7	S.D.M. S.R.L.	41,9562262	12,7626418	2	17:00:00	17:30:00	2
8	Innocenti	41,9682276	12,6867695	-2	17:49:00		

Automezzo: **DR246CV** Non è necessario utilizzare questo automezzo

Dimostratore IASI



OR5 – Analisi dei risultati e nuovo modello di gestione

- Obiettivi realizzati con successo
- Il sistema di tracciamento
 - abilita il miglioramento di diversi parametri quali: errori, tempo pianificazione squadre di selezione, tempo pianificazione viaggi, tempo speso in attività documentale.
- Modelli di ottimizzazione → improvement performances operative
- Analisi della profittabilità → maggior controllo delle commesse

Analisi dei risultati e nuovo modello di gestione

- Selezione:
 - diminuzione costi
 - Strategie di pianificazione (No scorte vs accumulo)

Instances TH - Arrivals	ObjVal_M	Obj_Val.C	%Obj reduction	Runtime_M	Runtime_C	%Run diff
12 - low	1151.036	1263.556	8.90	0.036	0.029	-0.241
12 - moderate	3233.546	3421.400	5.50	0.052	0.033	-0.576
12 - average	5388.570	6319.804	14.7	0.092	0.081	-0.136
12 - high	8262.336	9117.556	9.4	0.271	0.050	-4.420
12 - extreme	infeasible	infeasible	infeasible	infeasible	infeasible	infeasible
24 - low	2708.048	3094.936	12.5	0.131	0.058	-1.259
24 - moderate	6933.418	7659.156	9.5	0.446	0.126	-2.540
24 - average	11502.106	13507.594	14.8	0.477	0.748	0.362
24 - high	18320.334	20186.248	9.2	2.217	0.155	-13.303
24 - extreme	infeasible	infeasible	infeasible	infeasible	infeasible	infeasible
36 - low	4104.140	4564.886	10.1	0.333	0.152	-1.191
36 - moderate	10577.530	11834.330	10.6	7.372	1.154	-5.388
36 - average	17902.680	20485.472	12.6	6.530	31.161	0.790
36 - high	28025.228	30655.698	8.6	1.837	0.361	-4.089
36 - extreme	infeasible	infeasible	infeasible	infeasible	infeasible	infeasible
48 - low	5952.454	7030.596	15.3	6.667	2.150	-2.101
48 - moderate	14472.414	15962.360	9.3	64.374	6.642	-8.692
48 - average	23870.748	26794.730	10.9	12.559	29.889	0.580
48 - high	38239.526	41147.530	7.1	20.576	2.148	-8.579
48 - extreme	infeasible	infeasible	infeasible	infeasible	infeasible	infeasible
60 - low	7105.006	8443.570	15.9	26.816	2.697	-8.943
60 - moderate	18328.174	20426.798	10.3	140.476	62.179	-1.259
60 - average	30355.192	34709.392	12.5	148.196	300.026	0.506
60 - high	47101.504	50434.394	6.6	98.605	1.611	-60.207
60 - extreme	infeasible	infeasible	infeasible	infeasible	infeasible	infeasible

Analisi dei risultati e nuovo modello di gestione

- routing:
 - diminuzione costi
 - strategie di allocazione / flotte

	date	Costo SOLUZIONE ATTUALE	Soluzione OTTIMA modello	GAP	Soluzione CLUSTER	GAP
0	2018-04-07	408,62304	256,91	37%	293,2503	28%
1	2018-05-12	121,57803	109,28	10%	124,73774	-3%
2	2018-05-16	1119,10293	720,28	36%	778,79046	30%
3	2018-05-19	247,83228	140,00	44%	165,87222	33%
4	2018-05-25	158,4765	112,98	29%	144,45706	9%
5	2018-05-26	296,70525	188,00	37%	225,36863	24%
6	2018-06-18	322,17264	220,98	31%	221,42595	31%
			PERCENTUALI RISPARMIO COSTI	32%		22%

Analisi dei risultati e nuovo modello di gestione

Modelli applicabili
in contesti più generali



capacità
di tracciare i flussi



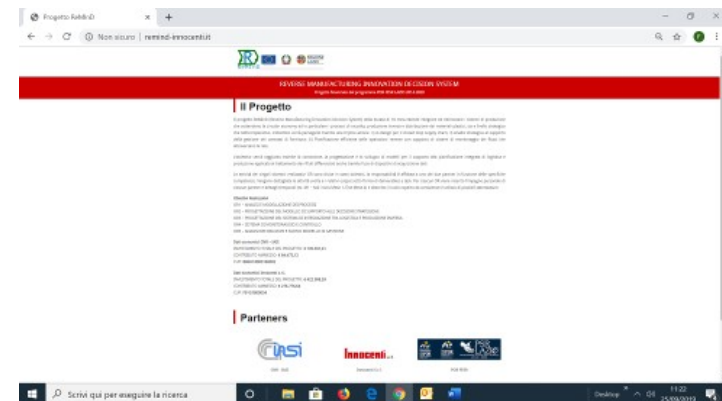
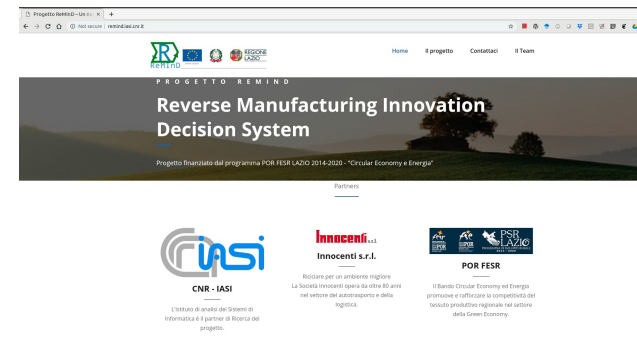
capacità di analisi
della profittabilità



nuovi modelli di business che permettano di riposizionare l'azienda

Disseminazione e altri risultati

- Siti web
- Seminari nazionali ed internazionali (3+)
- Pubblicazioni su atti di convegni e capitoli di libro internazionali (5+)
- Tesi di Laurea (6)
- Tirocini (2)
- Assegni di ricerca
- Followup Scientifici (ottimizzazione robusta, AI/ML)
- Nuove iniziative progettuali (Regione Lazio, CNR)



Follow-up

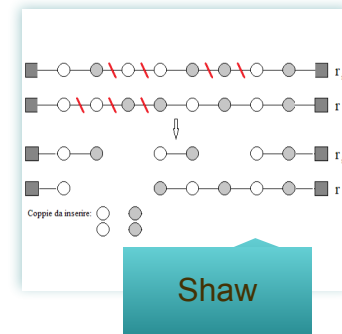
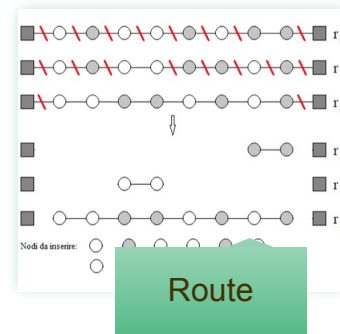
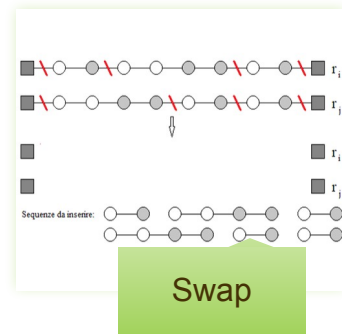
Matheuristica per il VRPPD-TW

- Matheuristica: Algoritmo di ottimizzazione in cui vengono integrate tecniche metaeuristiche a modelli di programmazione matematica
 - Approcci di scomposizione
 - Euristiche migliorative
 - Approcci basati su branching
- Large Neighborhood Search (LNS) e Matheuristica. Algoritmo metaeuristico in cui viene individuati ed esplorati degli intorni (grandi) di una soluzione corrente tramite la soluzione di modelli di programmazione matematica
- Adaptive LNS: la probabilità con cui vengono selezionati gli operatori di distruzione viene aggiornata dinamicamente in base alle performances

Matheuristica per il problema VRPPD-TW

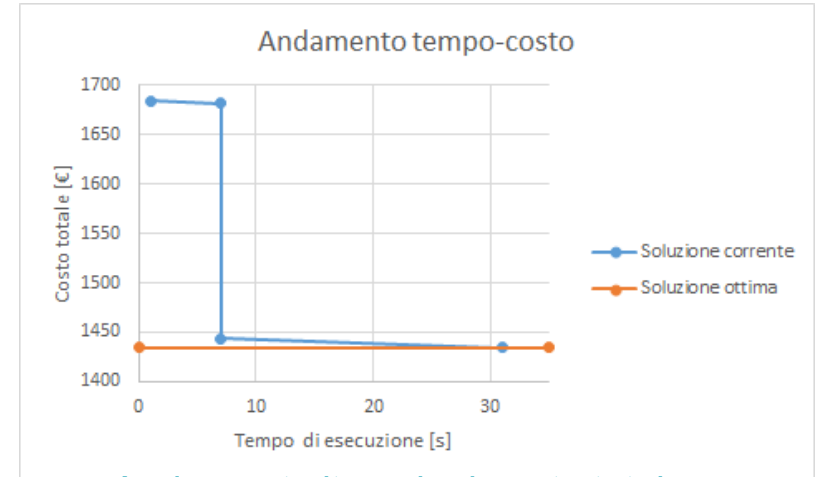
```
Sia  $s_0$  la soluzione corrente, individuata tramite l'algoritmo del cheapest insertion;  
iter=0;  
do {  
    seleziona un operatore di distruzione  $\omega$  randomicamente con probabilità  $\Pi(\omega)$ ;  
    seleziona un insieme Q di archi  $(i,j)$  presenti nella soluzione tramite  $\omega$  ;  
    for  $((i,j) \text{ not in } Q)$  {  
        fissa il valore delle variabili associate agli archi  $(i,j)$  e ai veicoli k che li servono;  
    }  
    esegui un run del modello per ricostruire la soluzione parziale finchè non viene individuato  
    l'ottimo  
    if (la nuova soluzione s ha costo minore di  $s_0$ ) {  
        la nuova soluzione s diventa  $s_0$  ;  
    }  
    else {  
        aggiorna le probabilità;  
    }  
}while (il numero massimo di iterazioni non è raggiunto);
```

Matheuristica: Operatori di distruzione della soluzione



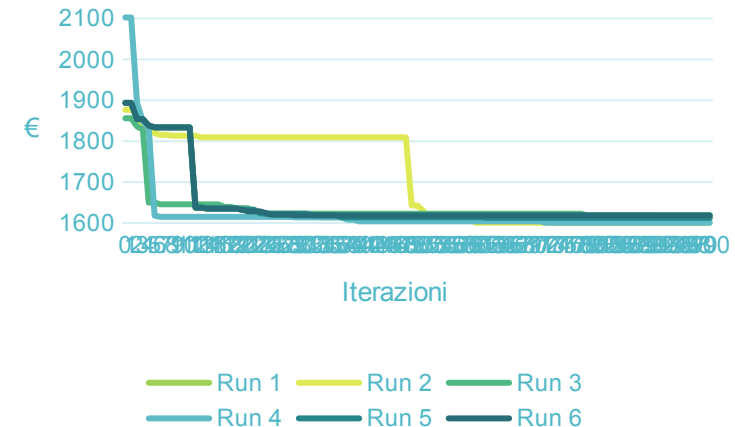
Matheuristica: Risultati

9 richieste	Metodo esatto	Mateuristica
Costo tot.	1434€	1434€
Tempo tot.	52 min	1,5 min



20 richieste	RISULTATI ALGORITMO
Costo totale medio 100 iter. [€]	1610.69
Valore minimo osservato [€]	1600.59
Riduzione media percentuale	15%
Riduzione di costo media [€]	200
Tempo medio totale di esecuzione [min]	11.72
Tempo massimo osservato [min]	15.35

Andamento iterazioni-costo totale



Progetto PIPER

- PIPER: Piattaforma Intelligente per l'Ottimizzazione di Operazioni di Riciclo
- POR FESR Lazio 2014-2020, bando "Gruppi di ricerca 2020"
- Piper intende valorizzare la ricerca scientifica nelle aree dell'ottimizzazione e dell'IA applicate al problema della sostenibilità del riciclo dei materiali dal punto di vista ambientale sociale e della Profittabilità economica

Progetto PIPER

- PIPER: Piattaforma Intelligente per l'Ottimizzazione di Operazioni di Riciclo



Comune di Fara in
Sabina



Comune di Ferentino



DIANA
Trasporti



Azienda
Municipale
Ambiente

Progetto PIPER

- Obiettivi Realizzativi:
 - OR1 ANALISI, MODELLAZIONE DEI PROCESSI E RACCOLTA DATI
 - OR2 SVILUPPO MODELLI PER IL DISEGNO DEL NETWORK DI RACCOLTA RIFIUTI
 - OR3 MODELLI ED ALGORITMI PER LA PIANIFICAZIONE DELLA RACCOLTA MATERIALI
 - OR4 MODELLI DI ANALISI DELLA PROFITTABILITA' DEL NETWORK
 - OR5 PROTOTIPI, SPERIMENTAZIONE E ANALISI DEI RISULTATI

Grazie per l'attenzione