

PIPE\$NET

UN SISTEMA DI TRASPORTO MERCI INNOVATIVO

CONFRONTO DELLE PRESTAZIONI CON I SISTEMI DI TRASPORTO SU GOMMA E FERROVIARIO

Prof. Ing. Franco Cotana, Prof. Ing. Federico Rossi, Ing. Andrea Marri
Università di Perugia, Via G. Duranti 67, 06125 Perugia, CIRIAF, V. G. Duranti 67, 06215 Perugia

SOMMARIO

“Pipe\$net” è un originale sistema di trasporto merci leggera (tipicamente fino a 30 Kg) costituito da una rete di tubi ad aria evacuata all’interno dei quali si muovono capsule in condizioni di ridottissimo attrito all’avanzamento e ad altissima velocità.

Nella presente memoria si espongono i principali aspetti tecnici del progetto considerandone le prerogative e gli elementi di originalità quali l’elevata capacità di trasporto, la velocità di consegna delle merci, l’integrazione con la rete di trasporti autostradale e ferroviaria esistente, l’uso di tecnologie internet per la gestione del traffico, l’impiego di tecnologie mature, il ridotto consumo energetico e il basso impatto ambientale. Attraverso il confronto con agli attuali sistemi di trasporto su gomma e rotaia si evidenziano i vantaggi di Pipe\$net in termini economici, ambientali e sociali. Sono brevemente descritti i prototipi attualmente realizzati. I diritti di “Pipe\$net” sono tutelati da due brevetti internazionali.

INTRODUZIONE

“Pipe\$net” è un originale sistema di trasporto merci costituito da una rete di tubi all’interno dei quali si muovono capsule ad altissima velocità. Le prerogative principali di Pipe\$net sono:

- elevata capacità di trasporto, frutto di alte velocità combinate con elevate frequenze di inoltro delle capsule;
- rapidità con consegna della merce in pochi minuti attraverso lunghe distanze;
- possibilità di cablare in tempi ridotti e costi contenuti le dorsali nazionali utilizzando i tracciati ferroviari e autostradali;
- possibilità di diffusione capillare lungo il territorio per spedizioni di tipo B2C (*Business to Customer*);
- ridotto consumo energetico;
- ridotto impatto ambientale.

In Figura 1 è rappresentata una possibile configurazione di una linea Pipe\$net.

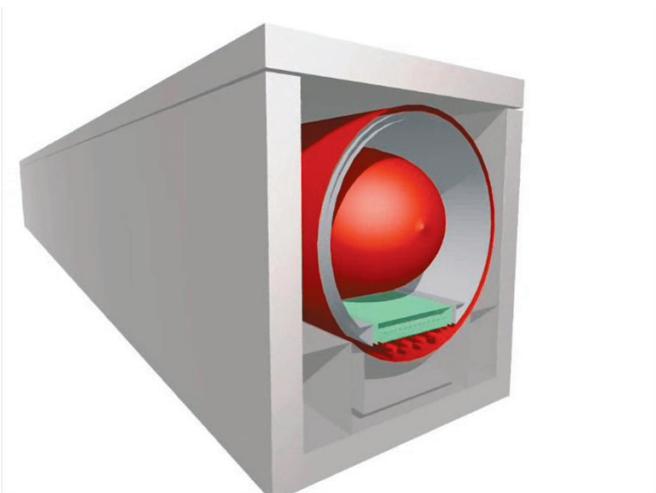


Figura 1: una possibile configurazione di una linea Pipe\$net

ELEMENTI DI ORIGINALITÀ DEL SISTEMA PIPE\$NET

Di seguito si descrivono brevemente i principali elementi di originalità che caratterizzano Pipe\$net.

Trazione per mezzo di un motore elettrico lineare sincrono

La propulsione delle capsule avviene tramite un motore elettrico lineare sincrono che recupera in fase di decelerazione fino al 70% dell’energia spesa in fase di accelerazione. Il principio di funzionamento di un motore elettrico lineare è analogo a quello di un motore elettrico sincrono, nel quale il rotore, invece di muoversi di moto rotatorio, si muove di moto traslatorio su un campo magnetico traslante. Una sottoclasse del motore lineare è il motore tubolare, nel quale lo statore piano si può immaginare essere avvolto intorno ad un asse parallelo al senso della lunghezza.

Attrito ridotto

L’attrito all’avanzamento verrà sensibilmente ridotto per mezzo di particolari sistemi di sospensione delle capsule e dal vuoto spinto all’interno dei tubi.

I sistemi di sospensione delle capsule potranno essere realizzati con diverse modalità a seconda dell’applicazione e della tipologia di linea.

Sospensione di tipo magnetico. E’ caratterizzata da una particolare disposizione di magneti permanenti che generano una forza repulsiva tra capsula e tubo di contenimento. Tale soluzione ha il vantaggio di non richiedere alimentazione e non necessita di manutenzione ordinaria. La sospensione a magneti permanenti non consente tuttavia di mantenere la capsula centrata nel tubo; a tale proposito sarà necessario dotare la capsula di un dispositivo di centramento che produce inevitabilmente dissipazione di energia per attrito.

Scorrimento su ghiaccio. Le capsule saranno dotate di pattini e all’interno del tubo saranno realizzate delle guide nelle quali verrà prodotto ghiaccio. I pattini scorrono sulle guide di ghiaccio dove esercitano una elevata pressione che produce la liquefazione dello stesso ghiaccio e la formazione

di uno strato liquido caratterizzato da un ridottissimo attrito dinamico. Il vantaggio della suddetta soluzione è il bassissimo attrito; lo svantaggio principale è che il ghiaccio necessita di reintegrazione continua a causa della liquefazione e della sublimazione, che può essere elevata anche a causa della ridotta pressione prevista all'interno del tubo. Attualmente presso i laboratori dell'Università di Perugia sono condotte prove tribologiche sul comportamento del supporto di ghiaccio al variare delle condizioni di pressione del pattino, atmosferica e di temperatura ai fini di determinare le migliori condizioni operative.

Vuoto Spinto. Al fine di diminuire l'attrito aerodinamico sarà ridotta notevolmente la pressione all'interno dei tubi mediante sistemi di evacuazione dell'aria. Sarà necessario adottare le migliori tecnologie per garantire elevata tenuta; sia lungo la linea che in punti particolarmente critici quali le aree di immissione capsule, le discontinuità e le capsule stesse che potrebbero trasportare aria per adsorbimento.

Tecnologia internet per la gestione del flusso delle capsule

L'impiego di tecnologie di derivazione internet consentirà di realizzare sistemi di controllo del flusso delle capsule di estrema affidabilità, date le notevoli esperienze ormai maturate nelle logiche internet per indirizzare i flussi di dati sui percorsi più brevi o liberi da traffico. Ad esempio nel caso di trasporto merce mediante capsule Pipe\$net da Napoli a Torino, i sistemi di controllo consentiranno di individuare tra i vari percorsi disponibili quale risulta più breve e/o più libero da traffico ed ottimizzare quindi i tempi di trasporto.

DESCRIZIONE DEL SISTEMA PIPE\$NET

Di seguito si riportano le caratteristiche dei principali elementi di un sistema Pipe\$net.

Capsule

Sono contenitori a tenuta ermetica di forma cilindrica, con massa propria di circa 10 kg e massa trasportabile massima pari a 30 kg, in grado di segnalare la propria posizione in rete tramite opportuni *transponder*. Le probabili dimensioni delle capsule sono state individuate sulla base della distribuzione statistica del peso e della densità dei colli (tali dati possono variare in funzione dell'area merceologica).

La lunghezza delle capsule comprensiva di dispositivi di serraggio è circa 80 cm, a fronte di un diametro della sezione di 60 cm per un volume complessivo trasportabile pari a 120 litri.

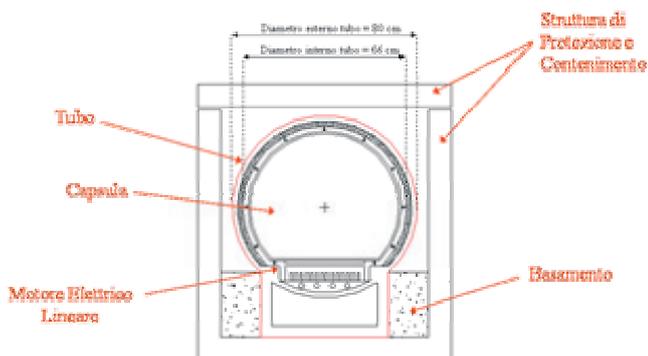


Figura 2: schema di sezione di una linea Pipe\$net

Tubi

Le dimensioni e le caratteristiche dei tubi ove avviene il trasporto delle capsule sono riportate in Figura 2 (diametro esterno pari a 80 cm, diametro interno pari a 66 cm).

Linee di trasporto

Una possibile configurazione delle linee di trasporto Pipe\$net prevede l'impiego di 4 singoli tubi:

- 2 per il traffico ordinario;
- 2 per le emergenze e/o manutenzioni.

E' inoltre prevista una stazione di interscambio (SI) ogni 10 Km ed una stazione di alimentazione (SA) ogni 2 Km.

Lo scopo principale delle stazioni SI è quello di garantire l'interscambio fra le linee ordinarie e quelle di emergenza. Lo scambio può avvenire per i seguenti motivi:

- 1) Danneggiamento della linea ordinaria;
- 2) Manutenzione della linea ordinaria;
- 3) Necessità di impiegare linee parallele per sopperire a momentanea congestione del traffico.

Le stazioni SA ospitano le unità per:

- 1) l'alimentazione delle linee;
- 2) il controllo del traffico;
- 3) il pompaggio.

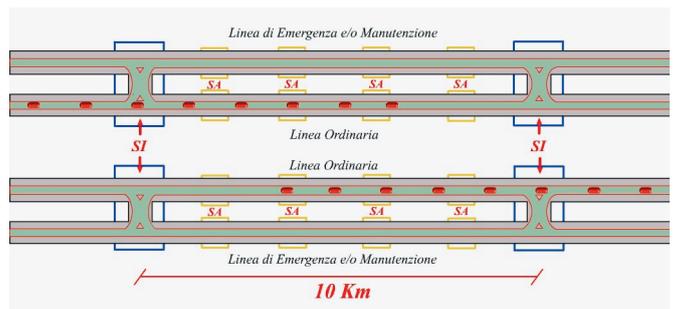


Figura 3: capsule in movimento lungo le due linee ordinarie

Le unità per l'alimentazione delle linee, il controllo del traffico ed il pompaggio sono inoltre presenti anche all'interno delle stazioni SI. In Figura 3 è riportato un esempio di linea Pipe\$net in cui sono presenti capsule in movimento nelle due direzioni lungo le linee ordinarie. In caso di danneggiamento di una linea ordinaria le capsule possono essere convogliate in una linea di emergenza e, alla successiva stazione SI, vengono di nuovo riportate lungo la linea ordinaria.

Dispositivi di inoltro e ricezione

I dispositivi di inoltro e ricezione consentono di inserire le capsule in linea e sono dotati a tale scopo di un sistema automatico di caricamento ed inoltro delle stesse; presentano tratti per l'adattamento della velocità a quella di linea ed impiegano tecnologie di deviazione magnetica per l'instradamento, per garantire l'assenza di contatto con la linea e ridotte perdite energetiche. Inoltre, sono previsti sistemi di *Air lock* per l'immissione in tubo a vuoto spinto, ad elevata tenuta ed equipaggiati con dispositivi di evacuazione dell'aria; sono infine dotati di sistema di controllo per la chiusura e l'ermeticità della capsula, per l'analisi del contenuto e il monitoraggio dei parametri chimico-fisici della merce trasportata.

PREROGATIVE E VANTAGGI DEL SISTEMA PIPE\$NET

Le caratteristiche tecniche appena descritte determinano una serie di prerogative ed importanti vantaggi del sistema Pipe\$net rispetto ai tradizionali mezzi di trasporto merci, come sintetizzato in Tabella 1.

Tabella 1: prerogative e vantaggi del sistema Pipe\$net

Prerogative del Sistema Pipe\$net	Alta velocità
	Alta Capacità di Trasporto
	Impiego di Tecnologie Mature
	Integrazione con le reti di Trasmissione Dati
	Integrazione con le attuali infrastrutture di Trasporto
Vantaggi del Sistema Pipe\$net	Riduzione dei costi e dell'energia di trasporto
	Diminuzione dei tempi di trasporto
	Riduzione dell'impatto ambientale
	Positive conseguenze socio-economiche

Di seguito sono descritte con maggior dettaglio le voci riportate in Tabella 1.

Alta Velocità

Gli studi fin qui effettuati hanno consentito di individuare, sulla base delle necessità dei trasporti in Italia e delle capacità tecniche dell'industria nazionale, 3 diverse tecnologie in funzione della diversa applicazione.

LS (Low Speed) Pipe\$net che consente di trasportare capsule ad una velocità massima di circa 350 Km/h. Il sistema Pipe\$net LS, adatto a reti di distribuzione locale e per brevi spostamenti (distanze inferiori a 100 Km), prevede la sospensione su ghiaccio o su "frictionless material" delle capsule, tratti di distribuzione e interscambio capsule a pressione atmosferica e tratti di lunghezza superiore a 10 Km in depressione (pressione circa uguale a 1/10 atm).

HS (High Speed) Pipe\$net che consente di trasportare capsule ad una velocità massima di circa 1500 Km/h. Il sistema Pipe\$net HS, adatto a tratte di media-lunga distanza (fino a circa 1500 Km), prevede la sospensione delle capsule su ghiaccio e/o magnetica e vuoto spinto (pressione circa uguale a 1/50 atm) all'interno dei condotti.

VHS (Very High Speed) Pipe\$net che consente il trasporto di capsule a velocità superiori a 1500 Km/h, adatto per tratte di lunghissima distanza e le cui tecnologie sono ancora da individuare.

Il moto è uniformemente accelerato nel primo tratto con accelerazione pari a g (accelerazione di gravità), dove avviene il massimo consumo di energia. Dopo aver raggiunto la velocità di crociera, pari a 1500 km/h nel Pipe\$net HS, il moto

è uniforme a velocità costante; l'energia r spesa in questo tratto è quella necessaria a contrastare gli attriti ed è quindi estremamente ridotta a causa delle condizioni di vuoto spinto in cui avviene il moto. Infine, nell'ultimo tratto, il moto è uniformemente decelerato con accelerazione pari a $-g$; in questo tratto, il motore lineare funziona da freno-generatore e consente di recuperare circa il 70% dell'energia spesa durante la fase di accelerazione.

Alta Capacità di Trasporto

La capacità di trasporto massima di una linea è definita come il peso massimo trasportabile per unità di tempo. Pertanto, al fine di ottenere elevate capacità di trasporto, è generalmente possibile far ricorso a trasporti di piccolo carico ma frequenti o a trasporti consistenti ma di ridotta frequenza. L'alta capacità di trasporto di una linea Pipe\$net si basa sulla prima soluzione. Le capsule, di portata massima P_{max} pari a circa 30kg, sono inviate all'interno dei condotti mediante slot dotati di opportuni caricatori in grado di veicolare contemporaneamente fino a 10 capsule.

Si consideri una distanza di sicurezza tra capsule consecutive pari a quattro lunghezze d'onda del campo magnetico. In modalità Pipe\$net LS, la lunghezza d'onda del campo magnetico λ_{LS} , è circa 1.6m (pari al doppio della lunghezza delle capsule). Pertanto, la distanza tra due capsule consecutive è pari a 6.4m. Si ottiene che la capacità massima C_{max} della linea Pipe\$net LS è pari a:

$$C_{max} = \frac{v \cdot P_{max}}{4 \cdot \lambda_{LS}} = 456 \text{ kg/s}$$

In modalità Pipe\$net HS, la lunghezza d'onda del campo λ_{HS} è circa doppia di quella in modalità LS; pertanto $\lambda_{HS}=3.2$ m. Si ottiene che la capacità massima C_{max} della linea Pipe\$net HS è pari a:

$$C_{max} = \frac{v \cdot P_{max}}{4 \cdot \lambda_{HS}} = 977 \text{ kg/s}$$

La capacità massima di una linea di trasporto merci su gomma è stata valutata considerando una sequenza di mezzi di trasporto, di capienza $P=2000$ kg ciascuno, a distanza di sicurezza $d_s=200$ m. Se i mezzi di trasporto viaggiano ad una velocità pari a 80 km/h, si ottiene che la capacità massima C_{max} della linea è:

$$C_{max} = \frac{v \cdot P}{d_s} = 222 \text{ kg/s}$$

Nel caso del trasporto merci su rotaia, ipotizzando che la frequenza massima di transito su una linea è pari ad un treno ogni 10 minuti per 22 ore giornaliere (2 ore al giorno sono dedicate alla manutenzione), si ottiene che in un giorno transitano 132 treni. Se il 70% sono dedicati al trasporto merci, considerando che il carico medio di un treno merci per linee ad alta velocità è pari a 450 t si ottiene che la capacità massima della linea è $C_{max}=481$ kg/s.

E' evidente come Pipe\$net HS consente la massima capacità di trasporto rispetto alle altre modalità di trasporto. La capacità di trasporto di Pipe\$net LS è di poco inferiore a quella del trasporto su rotaia; il trasporto su treni è però

principalmente orientato alle spedizioni B2B (*Business to Business*), mentre Pipešnet LS, come anche Pipešnet HS ed il trasporto su gomma, sono rivolti non solo al B2B, ma anche al B2C ed al C2C (*Customer to Customer*). Pertanto, il sistema Pipešnet è da considerarsi contrapposto al sistema di trasporto su gomma, piuttosto che a quello su rotaia.

Impiego di Tecnologie mature

Un'altra caratteristica particolarmente importante ai fini di un immediato sviluppo della rete è data dal fatto Pipešnet potrà avvalersi di tecnologie già mature singolarmente in Italia a livello sia ingegneristico che economico. A tal fine, sarà necessario coordinare le tecnologie suddette, elencate di seguito, per finalizzarle alla realizzazione del sistema Pipešnet:

- tecnologia del vuoto che consente di eliminare gli attriti con l'aria ed il rumore emesso;
- lubrificazione per sublimazione o quella della levitazione magnetica che consente di eliminare quasi completamente gli attriti tra capsula e parete interna del tubo;
- materiali speciali per la realizzazione di capsule ermeticamente chiuse, leggere e estremamente resistenti;
- tecnologia del motore lineare piano/tubolare che permette la propulsione sincrona delle capsule e l'alimentazione elettrica (es. propulsione di jet e razzi);
- deviazione magnetica che consente lo smistamento ad alta velocità delle capsule;
- tecnologia dei dispositivi di inoltro e ricezione a bassa velocità per singole abitazioni nel B2C, a media ed alta velocità per industrie nel B2B;
- tecnologia informatica di instradamento e controllo delle capsule dal punto di inoltro al punto di ricezione.

Integrazione con le reti di Trasmissione Dati

La gestione del flusso delle capsule Pipešnet potrà essere regolata con le stesse logiche di instradamento dei pacchetti dati della rete internet. L'integrazione logica di Pipešnet con le reti di trasmissione dati Internet, conseguentemente, ne determineranno anche quella operativa. Infatti, allo stato attuale, con l'impiego della sola rete Internet, vi è ancora un grande divario, in termini di rapidità del servizio, tra l'ordinazione delle merci (HO, *Home Ordering*) e la spedizione delle stesse (B2C). Il sistema mondiale dell'*e-commerce* manca infatti di un anello fondamentale: il trasporto merci (B2C). Con Pipešnet sarà possibile annullare questo divario ed aprire le porte all'innovativo sistema HOB2C (*Home Ordering Business to Customer*), basato sull'integrazione logica ed operativa di Pipešnet con la rete Internet.

Integrazione con le attuali infrastrutture di Trasporto

Sarà possibile impiegare i tracciati delle infrastrutture già esistenti, in particolare quelle ferroviarie, per supportare la realizzazione della rete Pipešnet. Due sono i possibili scenari: la rete Pipešnet potrà essere realizzata interrata, oppure in superficie, seguendo ad esempio i tracciati ferroviari esistenti. In Figura 4 è rappresentato un esempio di installazione di linea Pipešnet in superficie ad integrazione di una linea ferroviaria.

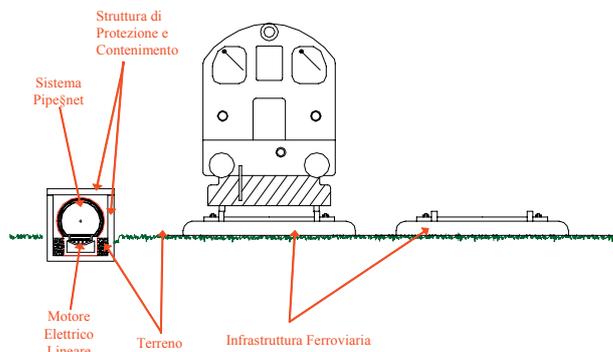


Figura 4: esempio di linea Pipešnet in superficie integrata con una linea ferroviaria esistente

L'integrazione della linea Pipešnet con le infrastrutture ferroviarie potrà essere realizzata, oltre che da un punto di vista strutturale, anche da quello funzionale. Infatti, i dati riportati in Tabella 2 evidenziano come il collettame (merci di volume inferiore a 3 litri) costituisce in minima parte (0.48%) il traffico merci ferroviario. Pipešnet potrà quindi sostituire il traffico ferroviario solo per quanto riguarda il trasporto di collettame ed un 20-30% del traffico tradizionale.

Tabella 2: Traffico Merci Ferroviario per Tipologia (Fonte: Trenitalia - Divisione Cargo)

Trasporto Merci Ferroviario	Milioni t/anno	Distanza Media Trasporto [Km]	Tipologia di servizio
Collettame < 3 litri	0.4 (0.48%)	302.0	B2B
Tradizionale	46,3 (55.45%)	302.0	B2B
Container	36,8 (44.07%)	245.7	B2B
Totale = 83.5		Media =277.2	

Inoltre, mentre il traffico ferroviario è principalmente dedicato alle spedizioni B2B, Pipešnet potrà integrarlo con i trasporti B2C e C2C.

Pipešnet potrà quindi sostituire principalmente il traffico merci su gomma, che allo stato attuale è il principale mezzo di spedizioni B2C e C2C. Infatti, dati statistici (fonte ISTAT) evidenziano come circa il 45% dei trasporti merci su strada sia concentrato attualmente su distanze inferiori a 50 km e dunque rimpiazzabile mediante la rete Pipešnet.

Riduzione dei costi e dell'energia di trasporto

Uno dei vantaggi principali di Pipešnet rispetto al trasporto merci su strada è la riduzione del consumo energetico. In Figura 5 è riportato il confronto tra i consumi energetici di Pipešnet LS e HS rispetto a quelli del trasporto su strada per tonnellata trasportata e distanza percorsa in funzione della distanza stessa.

Il confronto evidenzia che sia Pipešnet LS per brevi distanze (<100 km) che Pipešnet HS per distanze superiori a 50 km consentono un risparmio energetico di circa il 40% rispetto al trasporto su strada.

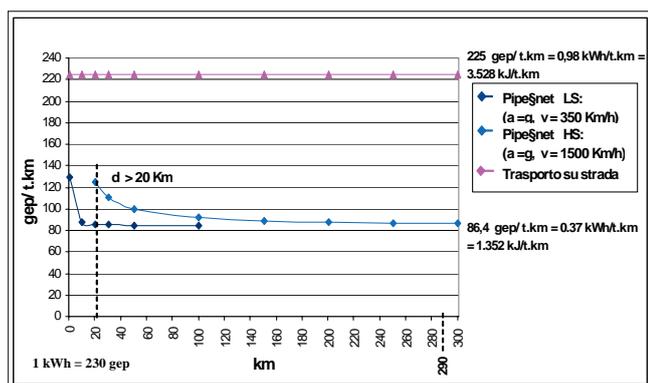


Figura 5: confronto tra il consumo energetico in gep/•km di Pipeşnet LS, Pipeşnet HS e trasporto su strada (gep=grammi equivalenti di petrolio, d = distanza minima tecnologicamente compatibile con Pipeşnet HS)

Diminuzione dei tempi di trasporto

Pipeşnet LS e HS, date le elevate velocità di percorrenza rispetto al traffico merci su strada, consentono una notevole riduzione dei tempi di trasporto. In Tabella 3 è riportato il confronto, al variare della distanza percorsa, tra le tre tipologie di trasporto suddette. Il confronto suddetto è stato effettuato sulla base delle seguenti ipotesi: la velocità del trasporto su merci su strada è stata considerata pari a 60 Km/h per distanze tra 10 e 100 km, 80 Km/h per distanze tra 100 e 200 km, 90 km/h per distanze superiori a 200 km. La velocità delle capsule di Pipeşnet LS e HS è stata considerata pari rispettivamente a 350 km/h e 1500 km/h.

Tabella 3: confronto tra i tempi di consegna merce garantiti dal trasporto su strada, da Pipeşnet LS e da Pipeşnet HS

Distanza (km)	Tempo di consegna		
	Trasporto su strada	Pipeşnet LS	Pipeşnet HS
10	10 min	1 min 54 sec	-
20	20 min	3 min 36 sec	-
50	50 min	8 min 48 sec	2 min 42 sec
100	1 h 15 min	17 min 18 sec	4 min 42 sec
200	2 h 30 min	-	8 min 42 sec
500	5 h 33 min	-	20 min 41 sec
1000	11 h 6 min	-	40 min 40 sec

Riduzione dell'impatto ambientale

Pipeşnet consente di ridurre, rispetto al trasporto merci su strada, le emissioni di inquinanti in atmosfera e di rumore, come riportato in Tabella 4. In particolare, mentre il traffico su strada produce emissioni di inquinanti a livello locale dovute al transito dei mezzi di trasporto, le emissioni localizzate dovute a Pipeşnet sono praticamente nulle.

Tabella 4: emissioni di inquinanti in atmosfera e di rumore dovuto a Pipeşnet ed al trasporto su strada

	CO ₂ eq. (g/t.km)	NO _x (g/t.km)	PM10 (g/t.km)	Rumore SEL dBA a 7.5 m
Pipeşnet (emissioni localizzate)	0	0	0	~ < 40
Pipeşnet (emissioni centralizzate)	~ 244	~ 0.27	~ 0.02	-
Trasporto su strada (emissioni localizzate)	~ 300	~ 1.4	~ 0.3	80

Considerando comunque che le linee Pipeşnet necessitano di energia elettrica di alimentazione e che quindi indirettamente producono emissioni dovute alle centrali di produzione di energia, è stato effettuato un confronto tra le emissioni localizzate dovute al traffico stradale e quelle centralizzate dovute a Pipeşnet, sulla base delle attuali tecnologie di produzione dell'energia in Italia.

In questo caso, i risultati in Tab. 4 evidenziano come le emissioni in atmosfera di CO₂, NO_x e PM10 dovute a linee di trasporto Pipeşnet siano inferiori rispetto a quelle su strada rispettivamente di circa il 19%, l'80% e il 93%.

In termini di rumore emesso, a livello localizzato, il transito di mezzi di trasporto su strada produce un SEL (Single Event Level - Livello di rumore dovuto al Singolo Evento) a 7.5 m di distanza pari in media a 80 dBA. Il SEL dovuto al transito di capsule Pipeşnet è stimato invece pari a circa 40 dBA.

Inoltre, l'integrazione strutturale di Pipeşnet con le infrastrutture presenti sul territorio, in particolare con quelle ferroviarie, fa sì che l'impatto paesaggistico visivo dovuto alla realizzazione delle nuove linee sia ridotto. Infine, trascurabili saranno le interazioni tra linee Pipeşnet e falde, garantendo pertanto la difesa di suoli e sottosuoli.

Positive conseguenze socio-economiche

L'impiego di Pipeşnet per la sostituzione di parte del traffico pesante su gomma consentirà una significativa riduzione del numero degli incidenti stradali, e dunque di morti e feriti. Un'indagine svolta sulla base delle statistiche AISCAT 2004 e sul Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2002) ha consentito di verificare che, nel caso in cui il 30% del traffico merci autostradale italiano sia sostituito con Pipeşnet, si otterrebbe:

- una riduzione di circa 3200 incidenti/anno sulle autostrade italiane (7% del totale incidenti sulle autostrade);
- circa 1100 feriti/anno in meno sulle autostrade italiane (5.5% del totale feriti dovuti ad incidenti autostradali);
- una riduzione di circa 55 morti/anno sulle autostrade italiane (10% del totale morti dovuti ad incidenti autostradali).

PROTOTIPI

Sono stati realizzati due prototipi sperimentali, al fine di verificare il comportamento dei materiali, l'accoppiamento delle diverse tecnologie coinvolte e individuare le problematiche da affrontare per la realizzazione di un primo tratto sperimentale di linea. Il primo prototipo (vedi Figura 6) è costituito da due tubi corrugati in polietilene con proprietà meccaniche e chimico-fisiche tecnologicamente compatibili con le condizioni di esercizio del sistema.



Figura 6: primo prototipo

Il tubo interno del primo prototipo costituisce la capsula di forma cilindrica adibita al trasporto merci. Il tubo esterno rappresenta la linea di trasporto. Il movimento della capsula all'interno della linea avviene mediante un sistema di guide lineari, accoppiate a un carrello portante equipaggiato con rulli a ridotto attrito dotati di elementi elastici.

In tale prototipo si prevede di realizzare sulla guida un canale in ghiaccio in modo da studiare il movimento della capsula e la riduzione degli attriti nell'ipotesi in cui la sospensione della stessa venga garantita da tale soluzione.

Il secondo prototipo (Figura 7) è stato realizzato con lo scopo di studiare il movimento di capsule e le problematiche connesse in caso di sospensione magnetica. La capsula è costituita da un tubo corrugato in polietilene avente le stesse caratteristiche dei tubi impiegati nel primo prototipo.

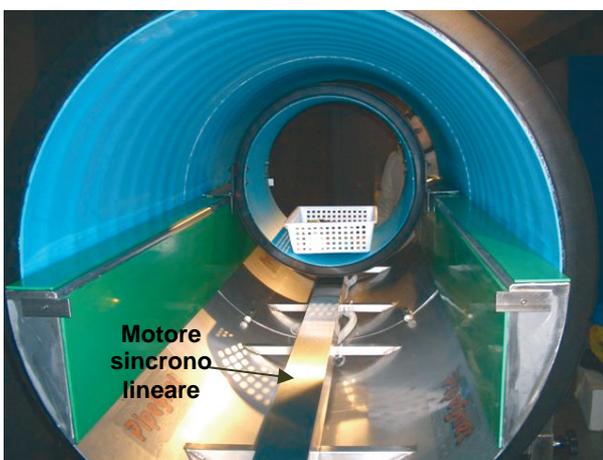


Figura 7: secondo prototipo

L'accoppiamento tra la capsula e la linea di trasporto avviene tramite sospensione magnetica realizzata mediante una configurazione a magneti permanenti contrapposti in modo da generare repulsione. Il movimento della capsula è

generato dal motore sincrono lineare sottostante che produce un campo magnetico traslante con parametri opportunamente regolabili ai fini di consentire il moto desiderato della capsula.

Il "centramento" della capsula nell'attuale prototipo è garantita da un sistema di contenimento di tipo meccanico.

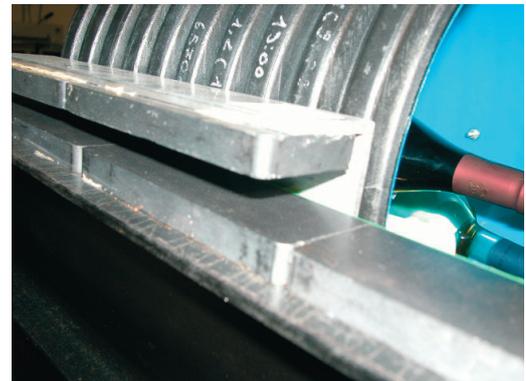


Figura 8: particolare dei magneti permanenti

CONCLUSIONI

Sulla base delle considerazioni suddette, si riporta di seguito un esempio riepilogativo, nel quale vengono evidenziati i vantaggi introdotti dal sistema Pipe\$net sul trasporto merci su strada, nel caso di un trasporto di una cassetta di verdura, di massa pari a 10 kg, da Reggio Calabria a Milano (distanza pari a circa 1250 km). In Tabella 5 è riportato sinteticamente il confronto tra le prestazioni di Pipe\$net e quelle del trasporto merci su strada. Pipe\$net garantisce tempi di consegna minori del trasporto su strada (nell'esempio un risparmio di oltre 14 ore, cui vanno aggiunti i tempi necessari alla distribuzione al dettaglio della merce). Inoltre, risultano notevolmente superiori le prestazioni di Pipe\$net anche in termini di consumo energetico ed emissioni di inquinanti in atmosfera.

Tabella 5: confronto tra Pipe\$net HS e trasporto merci su strada (trasporto di 10 kg di verdura da Reggio Calabria a Milano)

Modalità di Trasporto	Trasporto su gomma	Pipe\$net HS
Tempo di Percorrenza	≈15h37min	50min
Tempo di consegna	≈15h37min + tempo di distribuzione al dettaglio	≈50 min
Consumo Energetico	≈ 12.2 kWh	≈ 4.6 kWh
CO2 eq. prodotto	≈ 3.75 kg	≈ 3 kg
NOx prodotto	≈ 17.5 g	≈ 3.3 g
PM10 prodotto	≈ 3.75 g	≈ 0.25 g