POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Intermodal terminals with gateway function: Simulation of their engineering on a case study

Original
Intermodal terminals with gateway function: Simulation of their engineering on a case study / Dalla Chiara, B.; Manti, E.; Marino, M.. - In: INGEGNERIA FERROVIARIA. - ISSN 0020-0956. - STAMPA. - 68:6(2013), pp. 587-611.

Availability:
This version is available at: 11583/2874010 since: 2021-03-11T15:00:55Z

Publisher:
CIFI

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

12 October 2024

Terminali intermodali con funzione gateway: simulazione progettuale su un caso studio

Intermodal terminals with gateway function: simulation of their engineering on a case study

Prof. Ing. Bruno DALLA CHIARA[(*)], *Dott. Ing. Elisa* MANTI[(*)], *Dott. Ing. Michele* MARINO[(**)]

1. Introduzione

Il terminale intermodale è l'infrastruttura nodale dove si effettua il trasferimento modale di unità di trasporto intermodali (UTI). In base alla tecnica di trasbordo utilizzata, i terminali vengono dotati dei necessari impianti. Nel linguaggio internazionale, i terminali per il trasporto combinato strada-rotaia vengono spesso definiti *inland terminal*, in contrapposizione ai terminal per container o container terminal, situati usualmente presso i porti. Gli *inland terminal* vengono dunque utilizzati per il trasferimento delle UTI - casse mobili, semirimorchi, container - fra i veicoli stradali e quelli ferroviari; sono dotati di aree adeguatamente dimensionate, strutturate per la sosta e per la movimentazione sia dei veicoli completi - autocarri, autoarticolati ed autotreni - che delle UTI stesse.

I terminali intermodali possono definirsi di fatto come centri di raccolta, eventuale smistamento e distribuzione della merce attraverso più modi di trasporto, situati in centri strategici della rete, aventi la funzione d'ottimizzare l'utilizzo delle risorse e il trasporto.

La progettazione di un terminale intermodale porta a definire un layout in funzione di un determinato valore di *potenzialità*, ovvero il numero di UTI movimentabili nell'unità di tempo. La scelta della planimetria deve tenere conto di diversi fattori, quali la disponibilità di territorio, l'attrezzatura, i collegamenti con le reti di trasporto, i tempi di sosta delle UTI al terminale, il tipo di servizio offerto e le interazioni tra questi.

Si sintetizza nel seguito lo studio per la progettazione di un terminale intermodale con funzione anche *gateway* - quindi adatto allo stesso modo al trasbordo diretto di UTI tra convogli costituiti da carri a pianale o a tasca - situato per esemplificazione pratica nell'area dell'attuale Alessandria Smistamento, mediante uno strumento per la simulazione tridimensionale. Applicazione del tutto analoga potrebbe essere riferita ad alcune altre aree di smi-

(*) Politecnico di Torino.

(**) Regione Piemonte - Trasporti, Infrastrutture, Mobilità e Logistica.

1. Introduction

The intermodal terminal is the nodal infrastructure where the modal shift of the Intermodal Transport Units (ITU's) is carried out. The terminals are provided with the installations and equipment required in compliance to the applied handling techniques. In the international language, the terminals for road-rail combined transport are often defined as inland terminals, as opposed to the container terminals, which are usually located at the harbours. The inland terminals are therefore used for the transfer of the ITU's - i.e. swap bodies, semi-trailers and containers - between the road vehicles and the railway ones; they are provided with areas of the appropriate size, structured for the parking and handling of both complete vehicles - i.e. trucks, trailer trucks and road trains - and of the ITU's.

The terminals can actually be defined as centres for the collection, shifting or sorting - if required - and distribution of the goods through several transport modes, located in strategic hubs of the network and aimed at optimising both the resources and the transport.

Engineering and designing an intermodal terminal involves defining a layout as a function of a given throughput value or daily capacity, namely the number of ITU's which can be handled in the time unit. The choice of the layout must take into account several factors, such as the availability of land, the equipment, the connections to the transport networks, the storage time of the ITU's at the terminal, the kind of service offered and the relevant interactions among them.

We have summarised hereunder the study, which has been performed with the support of a 3D simulation tool, for the engineering and design of an intermodal terminal with gateway function as well and - therefore - also suitable to the direct transfer of ITU's between trains made by flat or pocket wagons, which has been located - for exemplification purposes - in the area of the current Alessandria Smistamento,

(*) *Politecnico di Torino.*

(**) *Regional Council of Turin, Transport, Infrastructures, Mobility and Logistics.*

stamento con selle di lancio ormai in disuso, parte delle quali recentemente smantellate (es. Torino smistamento)[1].

La simulazione permette di analizzare diverse grandezze significative per il progetto in funzione della variazione di parametri scelti dal progettista. Definito il layout del terminale in relazione anche ad elementi acquisiti in letteratura, il modello ha permesso di valutarne direttamente la potenzialità e le prestazioni variando alcuni parametri, quali i tempi di arrivo dei mezzi e le prestazioni delle attrezzature.

2. Il terminale con funzione gateway e cambio modale

2.1. Il terminale con funzione gateway e retroporto

La funzione gateway, generalmente fornita dagli *inland* terminal, permette lo smistamento diretto delle UTI tra treni aventi diverse origini e destinazioni; questo consente di effettuare lo spostamento della merce in un tratto ferroviario con volumi non elevati, limitando nel complesso il numero di veicoli utilizzati ed i costi dell'energia.

Un terminale intermodale[2] può avere anche funzione di retro-porto, senza necessariamente la funzione di magazzino ma solo di deposito: un'estensione del porto fuori sede adatta a fornire in remoto un centro di raccolta e distribuzione multimodale, in genere attraverso treni ad alta frequenza che colleghino direttamente il mare all'entroterra. Questo permette di spostare lontano dalla costa il servizio di distribuzione della merce, sia via strada sia via ferrovia, e di conseguenza di ridurre localmente la congestione di entrambi i traffici. Come ricordato da Podevins [1], l'indirizzamento del mercato verso l'interno del territorio è uno degli obiettivi primari che i porti in espansione devono perseguire, insieme allo sviluppo di connessioni flessibili, veloci e sicure con l'entroterra attraverso il cambio modale.

Gli *inland* terminal stanno acquisendo particolare importanza in Nord Europa, dove fungono sia come *hub* per i trasporti continentali che come valore aggiunto ai servizi dei porti vicini (terminali di Regensburg, Frankfurt am Main, Basel e Budapest, [1]). I terminali interni, in questo contesto, sono basati sul disaccoppiamento della funzione di magazzino e di trasbordo (*transshipment*):

i.e. marshalling yard of the city of Alessandria. *A fully identical application could also be referred to some other marshalling yards or sorting areas whose humps for the gravity yards are nowadays no longer used and part of which were recently dismantled (e.g.* Torino *marshalling yard)*[1].

The simulation allows for the analysis of several significant magnitudes for the project, as a function of the variation of the parameters selected by the engineer and designer. Once the layout of the terminal was defined, also as related to some elements acquired from the literature, the model has allowed for the direct assessment of its throughput (productivity) and performance when some parameters, such as the arrival time of the vehicles and the overall performance of the handling equipment, have been varied.

2. The terminal with both gateway and modal shift functions

2.1. The gateway terminal with inner harbour function

The gateway function, which is generally provided by the inland terminals, allows for the direct shunting of the ITU's among trains having different origins and destinations; this enables to transfer relatively small volumes of goods within a railway section, thus generating savings both related to the number of vehicles to be used and to the overall energy cost.

An intermodal terminal[2] *may also operate as inner harbour, with no need for an actual warehouse, but only of temporary storage areas: it can therefore be considered as an extension of the harbour, suitable for the remote supply of a multi-modal collection and distribution centre, generally through high-frequency trains which directly connect the sea to the hinterland. This allows shifting the goods distribution service away from the coast, both by road and railway, and - consequently - reducing the local congestion of both traffics. As recalled by Podevins [1], addressing the market towards the inland is one of the primary objectives the harbours in expansion should pursue, together with the development of flexible, fast and safe connections to the inland through modal shifting.*

The inland terminals are acquiring special significance in Northern Europe, where they operate as hubs for continental transport and ensure added value to the services of the neighbouring harbours (terminals in Regensburg,

---

[1] In alcuni paesi - come Gran Bretagna, Danimarca, Norvegia, Giappone ed Australia - gli scali di smistamento, con selle di lancio, dei carri completi sono stati praticamente tutti chiusi, a favore del terminal di tipo gateway, che permette d'ottimizzare il trasporto su ferrovia in modo rinnovato ed al passo con i tempi: anche in Italia sta di fatto avvenendo così, talvolta a favore di terminali intermodali oltre che di aree destinate al solo trasbordo treno-treno.

[2] Si ringrazia l'Ing. Ercolani per il supporto fornito nella redazione del testo.

---

[1] *In some countries - such as Great Britain, Denmark, Germany, Norway, Japan and Australia - almost all the marshalling yards, with humps, of complete wagons have been closed and replaced by gateway terminals, which allow optimising the railway transport in an upgraded, state-of-the-art way: such phenomenon is in progress in Italy as well, sometimes in favour of inland terminals in addition to areas allocated to the sole train-to-train- transfer.*

[2] *Our thanks to Mr. Ercolani for the support he provided in drafting this text.*

dividendo i due traffici, è possibile ridurre i tempi necessari per entrambe le operazioni, riducendo le probabilità di congestione.

In un terminal retro-portuale s'individuano tipicamente tre zone, la cui funzione è necessaria per slegare i tempi - quindi, i flussi - caratteristici:

- della trazione in linea;
- dell'operatività delle gru nel fascio operativo;
- della modalità stradale (presa e consegna UTI).

Lo schema di queste zone che compongono un terminal comprende:

- più moduli operativi sotto gru (binari e corsie di sosta UTI);
- asta di manovra;
- area deposito UTI;
- fascio binari di presa, consegna e sosta.

2.2. Il terminale con funzione di cambio modale

Il terminale con funzione intermodale permette di effettuare il trasporto combinato strada-rotaia, che in alcuni casi può diminuire i costi unitari di trasporto rispetto al tutto strada [2], aumentare la sicurezza e limitare l'impatto ambientale. Come in parte noto e ben evidenziato in Bryan et al. [3], infatti, quando l'amministrazione pubblica valuta correttamente la fattibilità e riconosce tutti i benefici economici e le conseguenze nelle condizioni locali, il trasporto ferroviario può essere una valida soluzione alla congestione stradale, producendo maggior efficienza di trasporto, maggior sicurezza per gli utenti stradali, minor impatto ambientale in termini di consumi energetici e, nel caso di investimenti per reti *hub-and-spoke*, sviluppo economico.

L'implementazione di una rete tipo *hub-and-spoke* – come noto applicata con successo nel trasporto aereo e marittimo prevalentemente dalla fine degli anni '80 - si propone per il trasporto combinato strada-ferrovia come un'opportunità interessante perché, prevedendo la concentrazione dei traffici in alcuni nodi principali ai quali sono collegati tanti collegamenti radiali quanti sono i nodi secondari, consente il raggiungimento di apprezzabili economie di scala [4], attraverso una riduzione significativa dei costi di trasporto sui collegamenti primari, in ragione della massificazione dei flussi di traffico in arrivo e partenza da e verso alcuni nodi egemoni, la possibilità di ottimizzare la fase di distribuzione secondaria e/o locale e l'offerta di una migliore copertura delle aree d'influenza sulle quali insistono i principali mercati di riferimento: si sostituiscono di fatto le connessioni punto–punto (*point-to-point*) con il collegamento di più nodi nella rete.

2.3. La simulazione sul terminale di Alessandria

Lo studio in oggetto mira alla progettazione funzionale e fisica, seppure non realizzativa, di un terminale aven-

Frankfurt am Main, Basel and Budapest, [1]). In such context, they are based upon the separation of the warehouse and transhipment functions: dividing the two traffics allows reducing the time required for both operations, thus preventing the risk of congestion.

An inner harbour terminal typically consists of three areas, whose functions enable to unchain the time and - consequently – the flows which characterize:

- *the rail traction on the line;*
- *the operation of the cranes in the operational siding (unloading and loading tracks);*
- *the road mode (collection and delivery of the ITU's).*

The scheme of the areas a terminal consists of includes:

- *several operational modules under the cranes (tracks and ITU storage lanes);*
- *working shaft;*
- *storage area for ITU's;*
- *operational siding (loading and unloading tracks).*

2.2. The terminal with modal shift function

The terminal with intermodal function allows performing the road-rail combined transport which - in some cases – allows reducing the unit cost of transport versus the road-only transport [2], increasing safety and limiting the environmental impact. As partially known and well highlighted in Bryan et al. [3], when the public authorities assess the feasibility as appropriate and acknowledge all the economic benefits and the impacts in the local conditions, the railway traffic can be a valid answer to road congestion, since it ensures higher efficiency of transport, greater safety for the road user, lower environmental impact in terms of energy consumption and even economic development, in case of investments for hub-and-spoke networks.

The implementation of a hub-and-spoke network – which, as well-known, has been applied with success mainly to air and maritime transports since the late nineteen eighties - is being proposed for the combined road-rail transport as an interesting opportunity because - by planning the concentration of the traffic in some main nodes linked to as many radial connections as the secondary nodes are - it allows attaining remarkable scale economy [4]; through a significant reduction of the cost of transport on the primary connections, due to the great increase of the traffic flows in arrival and departure from and to some leading nodes, it provides the opportunity of optimizing the secondary and/or local distribution stage and offers better coverage of the areas of influence focused by the main reference markets: the point-to-point connections are replaced by the connection of several hubs throughout the network.

2.3. The simulation on the Alessandria terminal

This study deals with the functional and physical design - even if not aimed at the implementation - of a terminal

te le precedenti due funzioni, situato nell'area prescelta - per la simulazione - nell'attuale area di Alessandria Smistamento; l'area è già compromessa dalla precedente funzione di smistamento con sella di lancio, tecnica di smistamento ormai desueta, a favore dello spostamento, tra treni adiacenti, delle sole UTI.

La localizzazione ottimale di questo tipo di terminale ad Alessandria è stata dimostrata da Piccioni, Antoniazzi e Musso [5], utilizzando il modello di *facility location*. Questo modello identifica la localizzazione in grado di minimizzare una determinata funzione obiettivo, relativa - ad esempio - al costo di accessibilità ed all'eventuale costo di investimento iniziale, nel rispetto di alcuni vincoli, come la capacità dei terminali ed il soddisfacimento dell'intera domanda di trasporto, a partire dai punti di domanda identificati come nodi della rete.

Il modello è stato applicato alla zona di confluenza del Corridoio Mediterraneo della rete TEN-T (ex V) Lisbona-Kiev considerando i terminali intermodali italiani presenti in tale area. I vettori di domanda considerano i flussi entranti/uscenti da Brescia, Milano, Novara, Padova, Piacenza, Torino, Treviso, Varese, Venezia, Verbania, Verona e Vicenza.

Il problema è stato risolto minimizzando la funzione del costo di trasporto, rappresentativa del costo di accessibilità ai terminali. La soluzione ha individuato in Alessandria Smistamento la migliore localizzazione del terminale principale. Infatti Alessandria può intercettare sia i flussi di lungo raggio (verso i mercati dell'Europa dell'Est e la Russia [6]) che quelli di medio e corto raggio (da Torino verso Est e da Genova/Savona verso Nord).

A questo approccio si aggiunge, essendo l'area già utilizzata in passato, la possibilità d'evitare la necessità di riconduzione del territorio compromesso a scopi diversi ovvero di riconduzione in natura o ancora d'andare ad intaccare altre aree verdi: si richiamano a tale scopo le più recenti indicazioni UE sul costo dell'intera durata o vita dell'infrastruttura, vale a dire costruzione, manutenzione, aggiornamento tecnologico ed eventuale smantellamento (EC - Construction - "Life-cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: towards a common methodology"): alcune nazioni ancora necessitano di infrastrutture nuove, in tal caso vanno considerate nell'intero costo del ciclo di vita al fine di evitare l'eventualità, come talvolta accade, di non poter mantenere ed aggiornare con i tempi la competitività di un'infrastruttura esistente, perdendone conseguentemente il traffico; ne deriva quindi, da queste indicazioni congiunte dell'Unione europea, una: "Life-cycle cost-benefit analysis" per le infrastrutture di trasporto.

3. La progettazione tramite simulatore

Come anticipato, la progettazione di un terminal si può definire come la scelta di un determinato layout con le relative attrezzature che produca un dato valore di potenzialità, misurata genericamente in movimenti gru nell'arco di tempo di un anno. Questa grandezza dipende da

provided with the two aforementioned functions, located - for simulation purposes - in the current area of Alessandria Smistamento; *the involved land is already affected by the previous marshalling yard function with hump: a technique which is nowadays being abandoned in favour of transferring the sole ITU's between adjacent trains.*

The optimal location of this type of terminal in Alessandria has been demonstrated by Piccioni, Antoniazzi and Musso [5] by means of the facility location model. The model identifies the localisation which can minimize a given objective function, such as - for instance - the cost of accessibility and the possible initial investment one, in compliance with some constraints, such as the overall capacity of a terminal and its ability to deal with the whole demand of transport, starting from the demand centres identified as nodes of the networks.

The model has been applied at the confluence of the Lisbon-Kiev aisle V, and takes into account the Italian intermodal terminals present in this area. The traffic demand vectors consider the infeed and outfeed flows to and from Brescia, Milan, Novara, Padua, Piacenza, Turin, Treviso, Varese, Venice, Verbania, Verona and Vicenza.

The problem has been solved by minimising the cost of the transport function, which is representative of the cost of accessibility to the terminals. The solution identified in Alessandria Smistamento *the most suitable location for the main terminal. Alessandria may intercept both the long radius flows (towards the markets of Eastern Europe and Russia [6]) and the medium to short ones (from Turin Eastwards and from Genoa/Savona Northwards).*

This approach must be added - since the area has already been used in the past - to the opportunity of avoiding the need to reclaim the affected land and allocate it to different purposes - namely whether to take it back to the nature - or even to draw on or spoil other green areas: to this purpose, we wish to remind the most recent indications of the EU on the cost of the whole duration or life of an infrastructure, i.e. construction, maintenance, technological upgrading and - if applicable - dismantling (EC - Construction - "Life-cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: towards a common methodology"). Some countries still need new infrastructures; in such case, the whole cost of the life cycle should be taken into account in order to avoid the risk - as it sometimes happens - of not being able to maintain and upgrade in time the competitiveness of an existing infrastructure, losing thereafter its traffic; hence, the joint indications of the European Union call for a: "Life-cycle cost-benefit analysis" for the transport infrastructures.

3. Design through simulator

As anticipated, the engineering and design of a terminal may be defined as the choice of a specific layout with the relevant equipment which has to produce a given

diversi fattori, quali il numero di treni serviti nell'unità di tempo, il numero di binari operativi e di buffer in dotazione, il numero di ore lavorative e di giorni lavorativi all'anno del personale, il numero di addetti in servizio, la tipologia e la quantità di attrezzatura a disposizione, la distribuzione dei tempi di arrivo dei mezzi, l'efficienza del terminale, il sistema di gestione del terminale, la quantità di slot disponibili nei depositi e il tempo di sosta delle UTI al terminale.

Nella definizione della planimetria, dunque, occorre considerare tutti i fattori precedenti e valutarne l'interazione. Questo è possibile grazie ad uno strumento di simulazione della realtà che, attraverso la riproduzione tridimensionale di un ipotizzato layout, può mostrare e misurare tutti gli output necessari per la valutazione della sua potenzialità: ad esempio, il numero di UTI movimentate ed i tempi di servizio ai mezzi.

Lo strumento di simulazione, tuttavia, non definisce automaticamente il layout ottimale per una data area territoriale: questa va definita dal progettista attraverso il confronto di diverse simulazioni, rappresentative di altrettante soluzioni scelte dal progettista.

4. L'attrezzatura per i terminali

La scelta dell'attrezzatura, più in generale del layout di un terminale è, come accennato, funzione del valore di potenzialità che si vuole raggiungere. In campo intermodale si possono usare, tra gli altri, i carrelli cavaliere, le gru semoventi e le gru a portale [7].

I primi sono carrelli a portale su ruote gommate, che trasportano il carico nella parte interna del veicolo e possono movimentare generalmente 150.000-3.000.000 TEU all'anno. Rispetto alla gru a portale, il carrello cavaliere ha costi inferiori ed è più versatile, ma necessita di spazio tra le file di container per poter passare: per questo è in genere utilizzato nei terminal di grandi superfici o bassa densità di impiego dello spazio, come sovente accade nei terminal container del nord Europa, non sacrificati tra il mare e le retrostanti alture.

Con le gru semoventi frontali equipaggiate con *spreader* è possibile caricare UTI dalla banchina sul secondo treno (quindi oltre il treno più vicino alla banchina), ma in questo caso le dimensioni del veicolo arrivano fino a circa 7 m. Questa soluzione non è adatta allo smistamento da treno a treno (funzione *gateway*), dove le gru a portale hanno livelli di efficienza superiori, ma ha una precisa vocazione di scambio bimodale dove il traffico non è ancora consolidato o dove si preferisce effettuare investimenti contenuti conservando un'elevata flessibilità di impiego delle gru.

Nel caso in esame, l'attrezzatura più funzionale si è rilevata la *gru a portale*, che solleva il carico mediante un carrello che scorre all'interno di un portale, che a sua volta trasla attraverso gomme o rotaie. I due elementi possono avere diverse velocità a seconda della

throughput, generically measured in terms of crane movements within a year. This figure depends on several factors, such as the number of trains served in the time unit, the number of available operational tracks and buffers, the number of working hours and working days per year of the personnel, the number of operators in service, the type and quantity of equipment at disposal, the distribution of times of arrival of the vehicles, the efficiency of the terminal, its management system, the quantity of slots available in the storage area and the time the ITU's are stored at the terminal.

In defining the layout - therefore - all the previous factors need to be taken into account and their interaction needs to be assessed. This can be achieved through a reality simulation tool which - through the 3D reproduction of a given layout - can show and measure all the output required to assess its throughput: for instance, the number of handled ITU's and the service times for the vehicles.

Nevertheless, the simulation tool does not automatically define the optimal layout for a given territory area: this must be defined by the designer through the comparison of different simulations, each of which represents one of the selected engineering solutions.

4. The terminal equipment

As highlighted, the selection of the equipment and - in more general terms - of the terminal layout is a function of the throughput value which needs to be reached. In the intermodal field, amongst other means, straddle carriers, front loaders and gantry cranes can be used [7].

The first ones are straddle trucks on tyres, which transport the load in the inner part of the vehicle and can generally handle from 150,000 to 3,000,000 TEU per year. As compared to the gantry crane, the straddle carrier is more cost-effective and flexible, but it requires space between the rows of containers: this is why it is generally used in the terminals of large surfaces or low density of space used, as it often occurs in the container terminals of Northern Europe, which are not compressed between the sea and the high grounds.

The front loaders provided with spreaders allow loading ITU's from the quay onto the second train (i.e. the train beyond the closest one to the quay), but - in this case - the dimensions of the vehicle reach up to approx. 7 m. This solution is not appropriate for shunting among trains (gateway function), where the gantry cranes show higher levels of efficiency, but it has a specific vocation in the bi-modal shifting, where the traffic is not yet consolidated or where limited investments are preferred while preserving high flexibility in the use of the cranes.

In the case under exam, the most functional equipment has proven to be the gantry crane, *which lifts the load by means of a trolley sliding within a portal; the latter - on its turn - is moved by either rubber or steel wheels,*

funzione della gru: nel caso di gru a portale per terminal portuali, per esempio, la produttività deve essere tale da soddisfare il traffico generato dalla banchina, quindi le velocità del carrello e del portale sono abbastanza elevate. Uno svantaggio dell'utilizzo di questa tecnica in ambito ferroviario è la necessità di effettuare un cambio di trazione per il locomotore elettrico, poiché per effettuare il carico-scarico dall'alto non deve essere presente la linea di alimentazione, a meno di soluzioni basate sullo spostamento della medesima nella zona interessata dal trasbordo [7].

Esistono inoltre sistemi più articolati e meno diretti, come il Metrocargo, nel quale è presente tra le rotaie e le corsie stradali un'area di stoccaggio munita di rulli motorizzati, che permettono la traslazione delle UTI da movimentare. Queste, se provenienti lato strada, vengono caricate su nastri trasportatori da una gru a portale, passano sui rulli e successivamente sono caricate sui carri grazie ad apposite navette. Viceversa, se in arrivo via ferrovia, vengono scaricate dal treno ed attraverso i nastri trasportatori arrivano all'area di stoccaggio, in attesa del prelievo da parte dell'autocarro. Questo sistema totalmente automatizzato permette di ottenere elevate potenzialità, non prevede però il trasbordo dei semirimorchi.

5. Ipotesi e scelte progettuali

Viste le precedenti considerazioni e considerato che l'area disponibile presa come applicazione esemplificativa ha come dimensioni 180 m di larghezza e 1470 m di lunghezza, la gru a portale è apparsa essere la soluzione migliore per il terminal simulato, perché:

- permette di rispondere alla funzione di gateway in modo ottimale, potendo effettuare il trasbordo treno-treno direttamente, senza mezzi intermedi;
- è l'unico mezzo con cui è possibile caricare-scaricare dal primo treno vicino alla banchina al terzo in tempi brevi;
- permette il trasferimento di tutti i tipi di UTI, se dotate di apposito *spreader*;
- possono essere raggiunte elevate produttività, se il numero di gru è adeguato;
- operando dall'alto, permette di risparmiare superficie per il deposito;
- è possibile effettuare lo stoccaggio impilando il numero di UTI desiderate;
- non è necessario nessun organo meccanico a terra nella zona di stoccaggio;
- la manutenzione è relativamente semplice;
- può coprire grandi luci;
- permette di rispondere alla funzione di gateway di trasporto combinato e di deposito temporaneo;

on rails. The two elements may feature different speeds, depending upon the function of the crane: in the case of a gantry crane for harbour terminals, for instance, the productivity can be such to meet the traffic generated by the quay; therefore, the speed of the trolley and the one of the gantry on rail are rather high. A disadvantage in using this technique in a railway environment is the need to change the traction for the electrical locomotive, because the need to lift on and off the ITU' from above precludes the installation of the power supply line, unless solutions based on the removal of the line in the sole transfer area are adopted [7].

Furthermore, other more articulated, less direct, systems exist, such as the Metrocargo, which includes a storage area provided with mechanized rollers between the rails and the road aisles to allow the transfer of the ITU's to be handled. If they come from the road side, the ITU's are loaded onto conveyor belts by gantry cranes, pass on the rollers and are then loaded onto wagons through purposely-allocated shuttles. Vice versa, if they arrive from the railway, they are unloaded from the train and reach the storage area through the conveyor belts, to be then retrieved by the road vehicle. This fully automated system ensures high hourly capacity, but it does not allow for the transfer of the semitrailers.

5. Assumptions and design choices

On the grounds of the previous considerations and, since the available area, that we have assumed as an exemplifying application, is 180 m wide and 1470 m long, the rail mounted gantry crane has appeared to be the best solution for the simulated terminal, since:

- *it provides an optimal response to the gateway function, as the train-to-train transfer can be performed without intermediate means;*
- *it is the only equipment that allows loading-unloading from the first train next to the shoulder to the third one in a short time;*
- *it allows transferring all the types of ITU's, if provided with the appropriate spreader;*
- *high productivity can be reached, if the number of cranes is appropriate;*
- *as it operates from the above, it allows saving storage surface;*
- *storage can be performed by piling up as many ITU's as required;*
- *no mechanical equipment is needed on the floor in the storage area;*
- *its maintenance is relatively simple;*
- *it may cover large clearances;*
- *it allows responding to the gateway function of combined transport and temporary storage;*

- è possibile sopperire al problema del cambio di trazione attraverso diverse tecniche.

Il modello della simulazione è il risultato di scelte compiute dal progettista, che a questo proposito deve necessariamente fare riferimento a casi reali e a grandezze empiriche e, in questo caso particolare, si basa sulle seguenti ipotesi:

- treni serviti dal terminale composti da 35 carri [2];
- utilizzo di gru a portale con adozione di una soluzione per evitare il cambio di trazione del locomotore;
- utilizzo di tutti i tipi di UTI e di *spreader* universale;
- automatizzazione delle operazioni di carico/scarico.

I treni da 35 carri, promossi dall'UE, hanno l'obiettivo di aumentare il trasporto merci su ferrovia, attraverso la diminuzione dei costi di trasporto unitari. Secondo M. Janic [4] ed in [2], l'utilizzo dei LIFT (Long Intermodal-Freight Trains, treni blocco che operano lungo grandi corridoi di mercato con una certa regolarità) diminuisce - sulla base di identificabili premesse - i costi interni e totali del trasporto, favorendo l'economia di scala. Per la simulazione del terminale sono stati scelti carri porta-container del tipo SGNS/SGNSS di lunghezza totale pari a 19.9 m, che possono contenere almeno un container da 40' e, secondo diverse combinazioni, almeno due UTI di dimensioni minori.

Il cambio di trazione del mezzo ferroviario comporta un ritardo aggiuntivo per le operazioni di carico/scarico del treno. Per evitare tale manovra aggiuntiva, è possibile ricorrere a diverse soluzioni:

- utilizzare una locomotiva ibrida che all'interno del terminal funzioni in modalità diesel;
- trainare il convoglio tramite un argano posizionato alla fine dei binari, dopo aver agganciato una fune al locomotore;
- creare un accoppiamento rocchetto-cremagliera tra locomotiva e binario, posizionando la parte motrice su rotaia;
- inserire una terza rotaia elettrificata per alimentare il convoglio;
- spostare la linea elettrica nell'area di trasbordo per il solo tempo necessario per le operazioni intermodali.

Occorre ricordare che la locomotiva che opera nell'impianto non è in via generale quella che effettua la trazione del treno.

L'ipotesi di utilizzo di UTI non sovrapponibili dipende direttamente dalle funzioni richieste al terminal: dovendo rispondere alla funzione di cambio modale, si deve prevedere anche l'utilizzo di casse mobili e semirimorchi.

Per la scelta del layout, è fondamentale considerare la lunghezza totale di un treno da 35 carri e i raggi minimi di curvatura per i treni e per gli autoveicoli. Un treno da 35 carri con carri SGNS/SGNSS è lungo in totale circa

- *different techniques can be adopted for the traction change issue.*

The simulation model is the result of choices made by the engineer and designer, who - to this purpose - has necessarily to refer to real cases and empirical magnitudes. In this particular case, the model is based upon the following assumptions:

- *trains served by the terminal composed by 35 wagons [2];*
- *use of gantry cranes with the adoption of a solution to avoid the change of traction of the freight locomotive;*
- *use of all the types of ITU's and of a universal spreader;*
- *automation of the load/unload operations.*

The trains composed by 35-wagons are promoted by the EU in order to increase the transport of goods on railway, by diminishing the cost of transport per unit. According to M. Janic [4] and in [2], the use of the LIFT's (Long Intermodal Freight Trains, i.e. block trains which operate along large market corridors at a given regularity) reduces – according to identifiable assumptions - the internal and total cost of the transport, thus fostering scale economy. For the simulation of the terminal, we have selected container-carrying wagons of the SGNS/SGNSS type of a length equal to 19.9 m, which may carry at least one 40' container (FEU) and - in compliance with different combinations - at least two ITU's of lower size.

The change of traction of the trains involves additional delay in the load/unload operations. In order to avoid such a manoeuvre, two different solutions can be resorted to, namely:

- *using a hybrid locomotive, which would operate in Diesel modality within the terminal;*
- *towing the train by means of a hoist located at the end of the tracks, after hooking a wire rope to the locomotive;*
- *introducing a rack-rail coupling between the locomotive and the track, yet placing the motorised part on the track;*
- *introducing a third electrified rail for the power supply to the train;*
- *moving the power line above the transfer area for the sole time required for the intermodal operations.*

It is worth reminding that the locomotive which operates the system is not in general the one which performs the traction of the train.

The assumption of using ITU's which cannot be piled up is directly related to the functions demanded to the terminal, namely: since the modal change function is to be performed, swap bodies and semi-trailers are to be taken into account as well.

For the choice of the layout, the overall length of a 35-wagon train and the minimum curve radii, for both the

696 m e richiede in curva – come usuale - un raggio minimo di 150 m, che in alcuni casi può essere ridotto. Dalla lunghezza del treno e dalle dimensioni dell'area risulta che la disposizione del treno può avvenire solo sul lato di 1470 m di lunghezza, poiché il lato corto, con una lunghezza pari a 180 m, non è sufficiente. D'altra parte questa disposizione è coerente con quella precedente, per la stazione di smistamento.

La larghezza trasversale dunque ha determinato il numero di binari e di strade, disposti parallelamente, per il terminale.

Poiché scopo di questo studio è stato trovare la *potenzialità massima* dell'area in oggetto, è stata scelta una soluzione in cui la locomotiva si sposta dalla testa del treno fino alla coda, così da poter uscire dal terminale senza girare tutto il convoglio. Questa scelta ha permesso inoltre di evitare incroci tra i due modi di trasporto, a favore di sicurezza, e di non costruire nuovi binari per l'immissione in rete dei treni, che, ad ora, escono dalla stazione dallo stesso lato da cui sono entrati.

Per massimizzare l'utilizzo dell'area in oggetto, stretta e lunga, è stata proposta una soluzione con tre moduli gru a portale su un solo livello (lo schema di un modulo è illustrato in figg. 1 e 2) disposti parallelamente l'uno rispetto all'altro. La gru a portale permette di sfruttare bene l'area perché si muove su rotaie che hanno poco ingombro trasversale e che possono essere disposte parallelamente alle rotaie ferroviarie, quindi non richiede molto spazio di manovra a terra.

Per avere un buon equilibrio tra le due funzioni del terminal, si è scelta la disposizione di tre binari operativi e due corsie stradali sotto gru. Questo permette di ottenere un'elevata produttività, perché la gru può effettuare il trasbordo su tre treni direttamente. Potrebbero insorgere alcune difficoltà nel caso di guasto ad una gru a portale, perché il binario centrale può essere raggiunto dai *reachstaker* solo se non ci sono UTI nel deposito. Tuttavia, è possibile utilizzare le due gru a portale rimanenti, che

trains and the road vehicles, are to be considered. A 35-wagon train with SGNS/SGNSS wagons shows an overall length of approx. 696 m and needs - as usual - a minimum curve radius of 150 m, which can be reduced in some cases. The length of the train and the dimensions of the area show that the trains can be arranged only on the 1470 m long side, because the short one - of an overall length of 180 – would not be sufficient. On the other hand, such arrangement is coherent to the previous one, for the marshalling yard.

The crosswise width thus determines the number of tracks and roads - which are set in parallel - for the terminal.

Since this study was aimed at finding the maximum throughput *of subject area, we have chosen to have the locomotive moving from the head of the train to its tail, so that the train can leave the terminal with no need of turning. Furthermore, this choice has allowed preventing both any crossing between the two transport modes - to the benefit of safety - and the need to build any new tracks to introduce the trains into the network, since – in the current conditions - they would leave the station from the same side they entered it.*

In order to maximize the use of subject area - which is narrow and long - a solution has been proposed with three gantry crane modules on only one level (the scheme of a module is illustrated in fig 1 and 2), located parallel to each other. The gantry crane allows for an efficient exploitation of the area, since it moves on rails with reduced crosswise dimensions and can be set parallel to the railway tracks; therefore it does not call for a large manoeuvre space on the ground.

In order to ensure an appropriate balance between the two functions of the terminal, it has been decided to locate three operational tracks and two road lanes under the cranes. This ensures high productivity, since the crane can operate on three trains without intermediate operations. Difficulties may rise in case of failure to a gantry crane, because the central track can be reached by the reachstakers

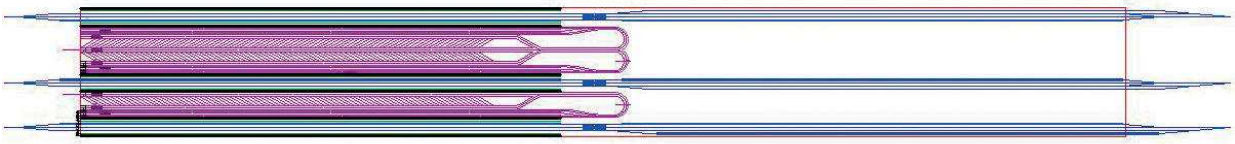

Fig. 1 - Schema del terminale: in viola è rappresentata l'area per gli autocarri e in blu i binari ferroviari; il rettangolo rosso interno è la superficie disponibile.
Fig. 1 - Scheme of the terminal: the area for road vehicles is in purple, the railway tracks are in blue; the internal red rectangle is the available surface.

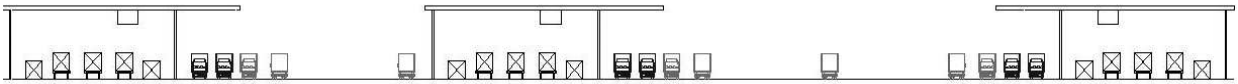

Fig. 2 - Sezione del terminale: le due gru a destra hanno in comune la corsia di entrata degli autocarri.
Fig. 2 - Section of the terminal: the two cranes on the RH side share the aisle for the entry of the road vehicles.

permettono di continuare il lavoro in condizioni degradate (si veda più avanti l'analisi in condizioni di guasto). Inoltre, occorre specificare che esistono terminali operanti su più di due binari operativi, come quello di Singen (4 binari), quello di Latina (3 binari), quello del terminal Sech di Genova (3 binari).

Per evitare incroci, quindi la costruzione di sottopassi o sovrappassi, si è scelto di far uscire gli autocarri da dove sono entrati ed è risultata necessaria quindi una corsia per l'inversione con raggio di curvatura pari a 15 m.

In questo modo si ottengono in totale nove binari operativi, sei corsie per il carico-scarico degli autocarri, tre corsie di scorrimento e tre corsie di entrata per gli autocarri.

L'area di *buffering* per i treni può essere disposta solo in senso longitudinale e deve essere composta almeno da quattro binari: uno per ogni binario operativo, dove i treni possono aspettare che la gru si liberi, più un binario che deve rimanere sempre libero per la partenza dei treni. È stato scelto uno scambio con raggio pari a 170 m e velocità massima di percorrenza pari a 30 km/h che richiede una lunghezza longitudinale pari a circa 50 m. Con questa configurazione, ogni treno in arrivo può aspettare il proprio turno nelle immediate vicinanze della gru, così è possibile ridurre al minimo i tempi morti. La disposizione scelta permette di inserire 180 parcheggi ruotati di 30° vicino alla corsia di scorrimento, aggiungendo un'apposita corsia per l'uscita dagli stessi.

6. Modellazione

Per la modellazione del terminale è stato utilizzato AutoMod, un programma che permette di simulare accuratamente impianti industriali di qualsiasi livello di complessità e dettaglio, con operazioni sia manuali che automatiche; esso consente di aumentare l'efficacia e l'efficienza dei progetti di impianti e sistemi complessi. Il programma genera i report e le statistiche sul funzionamento e sulle prestazioni del modello. Questi dati danno informazioni su tutti gli aspetti del sistema, come il fattore di utilizzo delle macchine, i livelli di giacenza ed il tempo totale di attraversamento degli impianti.

Per costruire il modello, è stato necessario costruire tre sotto-modelli: uno per la gru, uno per i treni e uno per gli autocarri, e compilare lo script (o *logic*) che fornisce le istruzioni ai *carichi* (cioè le UTI) per la movimentazione. Impostate la distanza longitudinale e trasversale tra i punti e l'altezza della gru, sono stati definiti i tempi di carico e scarico e le velocità, le accelerazioni e le decelerazioni del carrello e del portale.

Il modello in AutoMod rappresenta un modulo gru che comprende tre binari di servizio per la ferrovia, tre corsie per gli automezzi (di cui una di scorrimento) e due file per il deposito delle UTI. I treni all'interno del termi-

only if there are no ITU's on the ground. Nevertheless, the two remaining gantry cranes can still be used and allow carrying on the operations in degraded conditions (see the further analysis in failure conditions). Furthermore, it is worth highlighting that there are terminals which operate on more than two operational tracks, such as the one in Singen (4 tracks), the one in Latina (3 tracks), and the Sech terminal in Genoa (3 tracks).

In order to avoid crossings and - subsequently - the building of underpasses and/or overcrossings, it has been decided to let the road vehicles exit from where they entered, therefore an aisle of a 15 m curve radius was required for U turns.

This allows obtaining nine operational tracks, six aisles for loading and unloading road vehicles, three running aisles for letting them to run aside the previous ones, and three aisles for the entry of the road trains.

The buffering area for the trains can be set only lengthwise and must consist of at least four tracks: one for each operational track, where the trains can wait for the crane to be free, plus one - which must always remain clear - for departure. A 170 m radius switch with maximum coverage speed of 30 km/h for a longitudinal length of approx. 50 m has been chosen. In this configuration, every train in arrival can wait for its turn next to the crane, thus minimizing the downtime. The selected arrangement allows introducing 180 parking places inclined by 30° next to the running aisle, adding a purposely-allocated aisle for exit.

6. Modelling

For the modelling of the terminal, the AutoMod *program has been used; it allows simulating with accuracy industrial plants of any level of complexity and detail, with both manual and automatic operations;* AutoMod *allows increasing the effectiveness and efficiency in the engineering and design of complex plants and systems. Furthermore, the program generates the reports and statistics on the operations and performance of the model. These data provide information on all the aspects of the system, such as the utilization factor of the equipment, the depot state and the total time needed for crossing through the equipment.*

To build the model, three sub-models needed to be built: one for the crane, one for the trains and one for the road vehicles, and we had to fill the script (or logic*) which provides the instructions to the loads (i.e. the ITU's) to be handled. Once the longitudinal and crosswise distance between the points and the height of the cranes were set, we defined the loading/unloading time and the speed, accelerations and decelerations of both the front loader and the gantry crane.*

The AutoMod model represents a crane module which includes three service tracks for the railway, three aisles for the road vehicles (including a running one) and two rows for the depot of the ITU's. The trains within the terminal have a speed of 15 km/h, acceleration equal to 0.3 m/s^2 and

nale hanno una velocità di 15 km/h, con un'accelerazione pari a 0,3 m/s² e una decelerazione di 1 m/s², mentre gli autocarri si spostano a 30 km/h.

Si è ipotizzata l'apertura del terminal 24 ore al giorno (di cui un'ora riservata per il recupero dei ritardi, la manutenzione o il trasporto di merci pericolose) sette giorni la settimana, in accordo con il modello di simulazione del traffico container a Genova e La Spezia proposto da PAROLA e SCIOMACHEN [8], che ipotizzano una nuova linea ferroviaria fino a Tortona, treni da 33 vagoni ed interventi autostradali da e verso Genova.

Ogni carro trasporta un container da 40'[3], nelle simulazioni svolte, che dopo essere scaricato può essere messo a deposito, in attesa dell'arrivo dell'autocarro che lo deve prelevare o essere caricato direttamente su un altro treno.

Ne risulta un movimento gru per ogni container da 40', che idealmente può essere sostituito da due container da 20', ipotizzando di utilizzare una gru con *spreader* "multiplo", come quelli in uso nei terminal portuali. Non essendo noti i dati di origine/destinazione delle singole UTI, è stata ipotizzata una sequenza di carico/scarico delle stesse, in modo che la simulazione comprenda sia la funzione di gateway che quella di trasporto intermodale del terminal. La sequenza prevede che ogni treno sia prima scaricato e poi caricato. La priorità delle gru è per il servizio agli autocarri, segue il caricamento dei treni e infine la messa a deposito.

La sequenza logica - non necessariamente temporale - è mostrata nella fig. 3.

deceleration of 1 m/s², while the road vehicles are driven at 30 km/h.

The terminal has been assumed to be open 24 hours a day (of which one hour dedicated to recover the delays, the maintenance or transport of hazardous goods) seven days a week, in compliance with the container traffic simulation in Genoa and La Spezia proposed by PAROLA and SCIOMACHEN [8], which assumes a new railway line up to Tortona, 33-wagon trains and infrastructural interventions on the motorway from and to Genoa.

In the simulations performed, every wagon transports a 40' container[3], that can be then sided awaiting the road vehicle which has to retrieve it or be directly loaded onto another train.

The result is a crane movement for each 40' container, which can be replaced by two 20' ones, assuming to use a crane with "multiple" spreader, such as those in use in the harbour terminals. Since the origin/destination data of the different ITU's are not known, we have assumed a load/unload sequence of ITU's themselves, so that the simulation includes both the gateway function of the terminal and the intermodal transport one. The sequence implies that each train is first unloaded and then loaded. The priority of the cranes is the service to the road vehicles, followed by the loading of the trains and - eventually - storage.

The logical sequence, which is not necessarily time-related - is shown in figure 3.

This can be summarized as follows (figures 4, 5 and 6):

- *arrival of the train and moving of the locomotive towards the tail of the train;*
- *unloading of the ITU's of the first train (in blue) in storage area 1 and subsequent arrival of the road vehicles for their retrieval (i.e. lift-on and lift-off);*
- *arrival of the road vehicles with ITU's to be loaded on the first train (in red), arrival of the second train (in yellow, on the middle rail) and displacement of the locomotive;*
- *handling of the ITU's of the second train onto the first one;*
- *unloading of the ITU's of the second train to storage 1 and subsequent arrival of the road vehicles for their retrieval;*

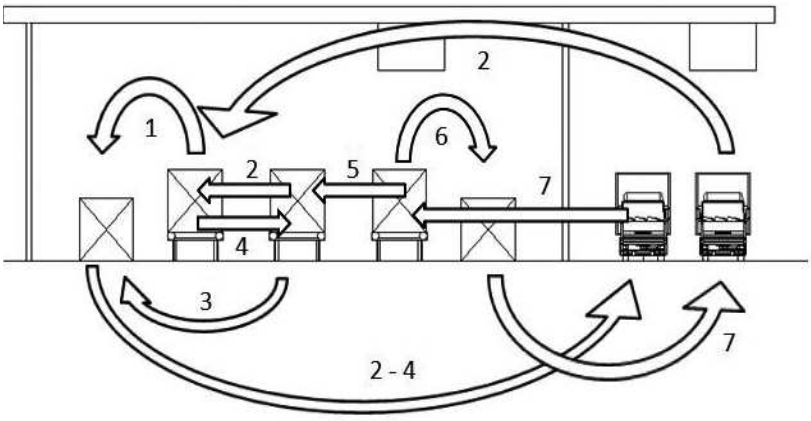

Fig. 3 - Schema di carico-scarico del modello.
Fig. 3 - Load-unload scheme of the model.

[3] La scelta di avere una sola UTI per ogni carro è in effetti una delle ipotesi più restrittive del lavoro, seppur sempre cautelativa: è risultata comunque necessaria per rendere compatibili tra loro la progettazione e la simulazione, perlomeno ad un primo livello di ricerca. Sicuramente un'evoluzione interessante del modello potrebbe contemplare UTI di diverse dimensioni anche combinate in modo diverso sui carri.

[3] *The choice of having only one ITU for every wagon is one of the most restrictive assumptions of the activity, even though still cautious: this was in any case required to ensure compatibility between design and simulation, at least at a first level of research. A certainly interesting evolution of the model might involve ITU's of different sizes, also combined differently on the wagons.*

Si può sintetizzare come segue (figg. 4, 5 e 6):

- arrivo del primo treno e passaggio del locomotore verso la coda del treno;
- scarico delle UTI del primo treno (in blu) nel deposito 1 e conseguente arrivo degli autocarri per il prelievo delle stesse;
- arrivo degli autocarri con UTI da caricare sul primo treno (in rosso), arrivo del secondo treno (in giallo, sulla rotaia di mezzo) e spostamento del locomotore;
- spostamento delle UTI del secondo treno sul primo;
- scarico delle UTI del secondo treno nel deposito 1 e conseguentemente arrivo degli autocarri per il prelievo delle stesse;
- caricamento delle UTI del primo treno (in blu) sul secondo treno;
- arrivo del terzo treno, spostamento del locomotore e caricamento delle UTI dello stesso sul secondo treno (in verde);
- scarico delle UTI del terzo treno nel deposito e conseguente arrivo degli autocarri per il prelievo delle stesse;
- arrivo degli autocarri con UTI da caricare sul terzo treno (in viola).

La gru quindi può eseguire i seguenti spostamenti:

- treno-deposito;
- deposito-autocarro;
- treno-treno;
- autocarro-treno.

- *loading of the UTI's of the first train (blue) onto the second train;*
- *arrival of the third train, displacement of the locomotive and loading of the ITU's of the third train onto the second one (green);*
- *unloading of the ITU's of the third train into the storage and subsequent arrival of the road vehicles for their retrieval;*
- *arrival of the road vehicles with ITU'S to be loaded onto the third train (purple).*

The crane may therefore perform the following movements:

- *train to storage;*
- *storage to road vehicle;*
- *train to train;*
- *road vehicle to train.*

The logic of the model assumes that the aforementioned movements are performed but - at the same time - that the displacement of every ITU is random. For instance, the arrival of the first train assumes that the ITU's are unloaded to the storage, but how many and which ones is defined randomly through a purposely-allocated function of the program: in particular, it can be set that every ITU has a likelihood equal to x to be unloaded; if x=0% it remains on the train, if x=100% is stored, if x=50%, half of the ITU's - as an average - shall be stored. This is required since the destination of the ITU's is unknown, and - subsequently - their handling cannot be defined a priori. *Furthermore, this allows assessing the throughput of the terminal without dictating any specially favourable or unfavourable condi-*

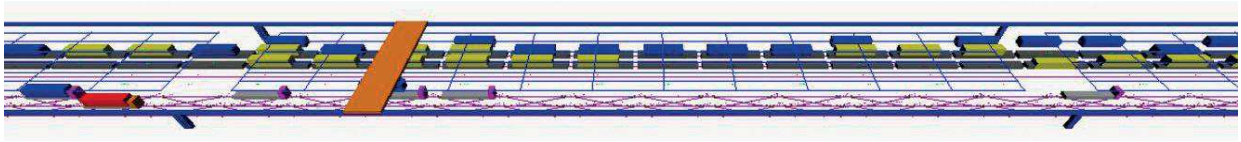

Fig. 4 - Primo e secondo treno sotto gru e servizio di un autocarro che preleva un'UTI.
Fig. 4 - First and second train under the crane and service of a road train which retrieves an ITU.

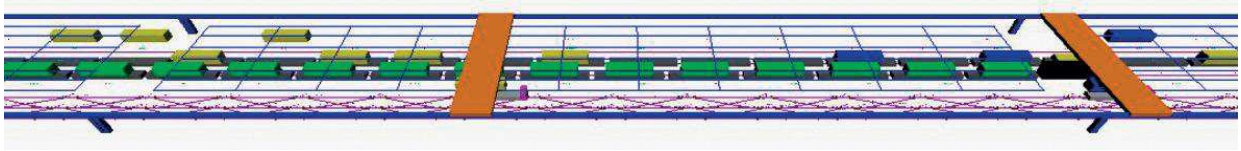

Fig. 5 - Secondo e terzo treno sotto gru e servizio ad un autocarro che preleva un'UTI.
Fig. 5 - Second and third train under the crane and service of a road train which retrieves an ITU.

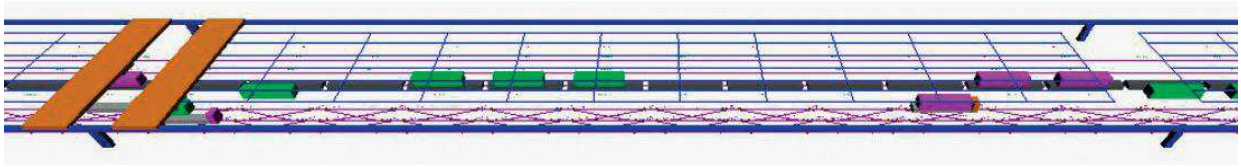

Fig. 6 - Terzo treno sotto gru, servizio ad un autocarro che preleva un'UTI e un secondo autocarro in attesa del prelievo.
Fig. 6 - Third train under the crane, service to a road train which retrieves an ITU and a second road train awaiting retrieval (lift-on and lift-off).

La logica del modello prevede che vengano eseguite le movimentazioni precedenti, ma al contempo che lo spostamento di ogni UTI sia casuale. Ad esempio, l'arrivo del primo treno presuppone che le UTI vengano scaricate nel deposito, ma quante e quali è stabilito casualmente grazie ad una funzione apposita del programma: in particolare, si può impostare che ogni UTI abbia una probabilità pari a x di essere scaricata; se x=0% rimane sul treno, se x=100% viene messa a deposito, se x=50% in media metà delle UTI verrà messa a deposito. Questo è necessario perché non si conosce la destinazione delle UTI, quindi non è possibile stabilire a priori i movimenti delle stesse. In questo modo, inoltre, è possibile valutare le potenzialità del terminal senza imporre condizioni particolarmente favorevoli o sfavorevoli e in funzione di diversi parametri, come per esempio la quantità di UTI scaricate dal treno. Nel modello proposto, il locomotore si sposta verso la coda del treno non appena questo si ferma sotto la gru, attraversando uno dei tre binari operativi: se sono tutti occupati, aspetta fino a che uno non viene liberato.

La partenza di ogni treno avviene quando è completamente carico, quindi dipende dall'arrivo degli autocarri e, per il secondo treno, anche dall'arrivo del terzo treno. L'arrivo sotto la gru degli autocarri che devono portare una UTI è previsto dopo il completo scarico del treno. Ogni autocarro arriva con un ritardo stabilito in modo casuale, compreso tra due valori limite, e di norma viene servito non appena la gru termina l'operazione che sta eseguendo. È stata scelta una distribuzione dei tempi di arrivo uniforme: dati al programma l'estremo inferiore e quello superiore dell'intervallo entro cui sono compresi tali valori, ognuno di questi ha la stessa probabilità di essere determinato nella scelta casuale. L'arrivo degli autocarri che devono prelevare una UTI, invece, può avvenire non appena la merce viene scaricata al deposito. Anche in questo caso il tempo di ritardo è casuale e limitato e il servizio avviene non appena possibile.

La sequenza precedentemente descritta parte dal presupposto che la programmazione della rete ferroviaria, del terminale e degli arrivi dei mezzi su strada sia costruita in modo da minimizzare il tempo delle UTI al deposito: questo infatti non ha funzione di stoccaggio, ma di luogo di attesa temporanea del mezzo di carico.

Con questa sequenza, è stato possibile analizzare: i tempi di servizio per gli autocarri, i tempi di servizio per i treni, il numero di movimenti della gru nell'unità di tempo, il numero di UTI movimentate nell'unità di tempo, il numero di coppie di treni al giorno serviti e l'utilizzo dei depositi in funzione dei seguenti parametri:

- quantità di UTI scaricate da ogni treno;
- frequenza di arrivo dei treni;
- frequenza di arrivo degli autocarri;
- velocità del carrello e del portale delle gru.

L'analisi dei tempi e delle quantità di UTI movimentate è stata eseguita facendo variare i parametri prima cita-

tions and as a function of different parameters, such as - for instance - the quantities of ITU's unloaded from the train. In the proposed model, the locomotive moves towards the tail of the train as soon as the latter stops under the crane, crossing one of the three operational tracks: if all of them are busy, it waits until one is cleared.

The train leaves once it is fully loaded, therefore this depends on the arrival of the road vehicles and - in case of the second train - also on the arrival of the third one. The arrival under the crane of the road vehicles which have to carry an ITU is scheduled after the full unloading of the train. Every road vehicle arrives with a delay which has been defined randomly, even though between two limit values, and is usually served as soon as the crane completes the operation it is performing. An even distribution of the arrival time has been selected: the program was given the lowest and highest extremities of the interval such values are between; each of these values had the same likelihood to be determined in the random choice. The arrival of the road vehicles which must retrieve an ITU - on the other hand - may occur as soon as the load is unloaded to the storage area. Also in this case, the delay time is random and limited, and the service is performed as soon as possible.

The sequence we have described above assumes that the planning of the railway network, of the terminal and of the arrivals of the road means is such to minimize the storage of the ITU's: the terminal has no warehousing function, but just as a place for the temporary storage while awaiting the loading means.

This sequence has allowed analysing: the service time for the road vehicles, the service time of the trains, the number of movements of the crane within the time unit, the number of ITU's to be handled within the time unit, the number of pairs of trains served per day and the use of the storage areas as a function of the following parameters:

- *quantities of ITU's unloaded by every train;*
- *arrival frequency of the trains;*
- *arrival frequency of the road vehicles;*
- *speed of the trolley for the spreader equipment and of the crane portal on the ground rails.*

The analysis of the time and quantities of ITU's handled has been performed by varying the aforementioned parameters on a "base" condition. Once we defined the maximum and minimum threshold values for every parameter, such condition was defined by setting the parameters to an average value, namely (table 1).

6.1. Analysis of the results

Since in the model the crane works in sequence on the three trains and the road vehicles are served only at the moment of their arrival, as soon as the crane ends its service for a train, it can move to the following one. For this reason, the parameters relevant to quantity of ITU's unloaded and to the frequency of arrival are strictly connected.

ti rispetto ad una condizione "di base". Definiti dei valori limite (minimo e massimo) per ogni parametro, è stata definita questa condizione ponendo i parametri ad un valore medio (tabella 1).

6.1. Analisi dei risultati

Poiché nel modello la gru lavora in sequenza sui tre treni e gli autocarri vengono serviti solo al momento del loro arrivo, non appena la gru termina il servizio per un treno, può passare al treno successivo. Per questo motivo, la quantità di UTI scaricate e la frequenza di arrivo sono parametri strettamente collegati.

Per queste simulazioni, è stato scelto di evitare tempi morti, quindi la frequenza di arrivo dei treni è stata scelta in modo che il treno in arrivo non debba aspettare eccessivamente che la gru sia libera e che questa non abbia tempi morti tra un treno e l'altro (tabella 2).

La frequenza massima dei treni in arrivo ad ogni modulo gru è determinata dal tempo di servizio del treno precedente (quindi anche dai tempi di arrivo degli autocarri). Essendo presenti quattro binari di buffering, la frequenza massima di entrata dei treni nel terminale è maggiore del tempo di servizio dei treni sotto gru (non è necessario infatti che un treno che debba entrare al terminale aspetti che un altro ne esca).

Sono riportati di seguito (tabella 3) i valori dei tempi di servizio dei treni negli otto casi.

TABELLA 1 – *TABLE 1*

VALORI DEI PARAMETRI SCELTI PER OGNI CONDIZIONE
VALUES OF THE PARAMETERS SELECTED FOR EVERY CONDITION

		Valore minimo *Minimum value*	Valore massimo *Maximum value*	Valore per la condizione base *Value for the base condition*
Percentuale di UTI scaricate dal treno *Percentage of ITU's unloaded from the train*		36%	100%	75%
Frequenza dei treni *Frequency of the train*	treno 1 *train 1*	10 min	90 min	30 min
	treno 2 *train 2*	60 min	180 min	110 min
Ritardo massimo di arrivo degli autocarri *Maximum delay in the arrival of the road trains*		10 min	120 min	60 min
Velocità della gru (2) *Speed of the crane(9)*	velocità del carrello *speed of the trolley for the spreader equipment*	90 m/min	130 m/min	110 m/min
	velocità del portale *speed of the portal*	60 m/min	120 m/min	90 m/min

TABELLA 2 – *TABLE 2*

TEMPI DI ARRIVO DEI TRENI NEI DIVERSI CASI DI QUANTITÀ DI UTI SCARICATE
ARRIVAL TIME OF THE TRAINS IN THE DIFFERENT CASES OF QUANTITIES OF ITU'S UNLOADED

		Percentuale di UTI scaricate dal treno *Percentage of ITU's unloaded from the train*							
		100%	93%	85%	80%	75%	66%	63%	36%
Tempi di arrivo dei treni dopo il primo [min] *Time of the trains in arrival after the first one [min]*	treno 2 *train 2*	90	40	40	30	30	20	20	10
	treno 3 *train 3*	180	150	140	120	110	80	80	60

In these simulations, we have selected to avoid the downtime, therefore the arrival frequency of the train has been selected so that the train in arrival must not wait too much for the crane to be cleared and that the latter has no downtime between a train and another one (table 2).

The maximum frequency of the train in arrival to every crane module is determined by the service time of the previous one (therefore, also by the arrival time of the road vehicles). Since four buffering tracks are provided, the maximum frequency of trains entering the terminal is greater than the service trains under the crane (there is no need for a train entering the terminal to wait for another one to leave).

Table 3 reports the service time values in the eight cases.

The maximum absolute frequency is therefore greater than a train every 48 minutes, but only in the case of the trains unloaded at 36%. In any case, every crane module can absorb at

TABELLA 3 – *TABLE 3*

TEMPI DI SERVIZIO E QUANTITÀ DI UTI SCARICATE
SERVICE TIME AND QUANTITIES OF ITU'S UNLOADED

	Percentuale di UTI scaricate dal treno *Percentage of ITU's unloaded from the train*							
Tempi di servizio [ore] *Service time [hours]*	100%	93%	85%	80%	75%	66%	63%	36%
treno 1 *train 1*	2,2	2	2	1,8	1,5	1,5	1,2	0,8
treno 2 *train 2*	2,5	2,8	2,7	2,7	2,3	2,2	1,8	1,5
treno 3 *train 3*	2,4	2,2	2,1	2,4	2,1	2,5	1,9	1,7

La frequenza massima assoluta quindi risulta essere maggiore di un treno ogni 48 minuti, ma nel caso di treni scaricati solo del 36%. In ogni caso ogni modulo gru è in grado di assorbire almeno un treno ogni due ore e mezza. Considerato che ci sono tre moduli gru nel terminale, si può dire che il terminale può assorbire un treno ogni $\frac{2.5\,ore}{3}$ =50 *minuti*, se i treni arrivano in modo omogeneo.

La quantità di coppie treni al giorno servite da ogni modulo gru è stata valutata considerando un massimo di 23 ore operative al giorno: per ogni simulazione è stato misurato il tempo necessario a terminare un ciclo di servizio per tre treni. In funzione della quantità di UTI scaricate per ogni treno è stato ricavato il coefficiente di dinamicità per ogni modulo gru, che ha valore minimo pari a 4 per treni scaricati completamente e pari a 7 per treni scaricati del 36%. Se tutti i treni vengono scaricati interamente quindi si possono servire fino a 4·3=12 treni al giorno per ogni modulo gru (per un totale quindi di 36 coppie di treni al giorno, avendo ipotizzato tre moduli gru). Nelle situazioni intermedie il coefficiente risulta pari a 5: il tempo di servizio dei tre treni ha un minimo di 3,9 ore (treni scaricati al 66%) e un massimo di 4,6 ore (treni scaricati all'85%).

Nei diversi casi, è stato riportato il valore di movimenti gru all'anno per l'intero terminale, considerando 365 giorni di lavoro annui (grafico 1).

L'andamento di questo parametro rispetto alla percentuale di UTI scaricate è crescente. Il valore massimo di circa 996.000 movimenti gru all'anno (con 460.000 UTI per il trasporto combinato e 260.000 per lo smistamento ferroviario) si ottiene quando i treni sono scaricati in media per l'85%; oltre il tempo necessario a servire tre treni abbassa il coefficiente di dinamicità a 4, quindi diminuisce la potenzialità del terminal. Il valore minimo è di circa 667.000 UTI movimentate all'anno, nelle quali 352.000 per trasporto combinato e 107.000 per lo smistamento ferroviario.

L'andamento dei valori di UTI movimentate per il solo smistamento ferroviario risulta essere più basso nel caso di UTI scaricate completamente, più alto nella zona intermedia, per l'effetto favorevole di un alto coefficiente di dinamicità e del numero di UTI scaricate.

Sostanzialmente si ha una sorta di andamento oscillante della produttività ferroviaria attorno ad un valore medio, che coinvolge ed equilibra i due elementi sopra citati: la quantità di merce scaricata dai treni e il numero di treni serviti nell'unità di tempo. Tale andamento oscillante è apprezzabile nel grafico 2, dove sono riportati i valori dati in output da AutoMod in azzurro, la funzione polinomiale di ordine 5 in rosso e la media dei valori in blu (è stato escluso il dato relativo a scaricamento del treno pari a 36%, perché rendeva meno buona l'approssimazio-

least one train every two hours and a half. Since there are three crane modules in the terminal, it can be stated that the terminal can absorb one train after 2.5 hours/3 = 50 minutes , if the trains arrive homogeneously.

The quantity of pairs of trains served by every crane module has been assessed considering a max. amount of 23 operational hours per day: for every simulation, we have measured the time required to complete a service cycle for three trains. As a function of the quantity of ITU's unloaded for each train, we have obtained the dynamic coefficient for each crane module, which has a minimum value equal to 4 for fully unloaded trains and equal to 7 for trains unloaded at 36%. Subsequently, if all the trains are fully unloaded, 4·3=12 trains per day can be served (for a total of 36 pairs of trains per day, assuming three crane modules). In intermediate conditions, the coefficient results to be equal to 5: the minimum service time of the three trains is 3.9 hours (trains unloaded at 66%) and the maximum one is 4.6 hours (trains unloaded at 85%).

In the different cases, the value of crane movements per year for the whole terminal has been reported assuming 365 working days per year (diagram 1).

The trend of this parameter as related to the percentage of ITU's unloaded is growing. The max, value of approx. 996,000 crane movements per year (with 460,000 ITU'S for combined transport and 260,000 ones for rail to rail shunting) is achieved when the trains are unloaded - as an average - at 85%. Besides, the time required to serve three trains lowers the dynamic coefficient to 4, hence diminishing the throughput of the terminal. The minimum value is of approx. 667,000 ITU's handled per year, out of which 352,000 for combined transport and 107,000 for rail to rail shunting.

The trend of values of ITU's handled for the sole rail to rail shunting is lower in case of fully unloaded ITU's, and higher in the intermediate area, for the favourable effect of

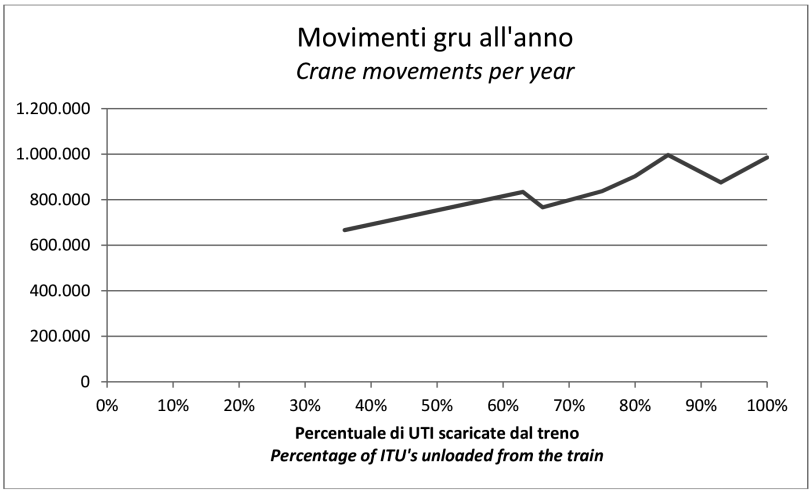

Grafico 1 – Valori dei movimenti gru / anno rispetto alla quantità di UTI scaricate.
Diagram 1 – Values of the crane movements per year related to the quantity of ITU's unloaded.

ne e non era comunque significativo per la realtà fisica del sistema).

La polinomiale approssima molto bene i dati, con un coefficiente di correlazione pari a 0,966. Si trova un massimo di produttività, corrispondente al massimo della funzione analitica, in corrispondenza del valore 82%, che corrisponde a circa 260.000 unità smistate all'anno.

Per quanto riguarda i tempi di attesa del servizio per gli autocarri, i valori minimi sono compresi tra 4,4 e 5,8': il sevizio è così rapido soprattutto quando la gru si trova nelle vicinanze dell'UTI da caricare o dell'autocarro, oppure quando un treno è appena partito, e la gru si può dedicare ai soli autocarri. I valori massimi invece arrivano fino a 48': questo succede nel caso si creino ingorghi sotto gru, e gli autocarri attendano in coda. L'ingorgo è in genere dovuto alla presenza di più autocarri sotto la stessa gru: mettendosi in fila in attesa dell'UTI, possono ostruire il passaggio per quelli in arrivo che devono immettersi nella corsia più interna; poiché il modello non prevede che un veicolo possa fare retromarcia o manovra, l'autocarro che non riesce ad arrivare al proprio posto rimane bloccato e ostruisce il passaggio anche a tutti i veicoli in arrivo.

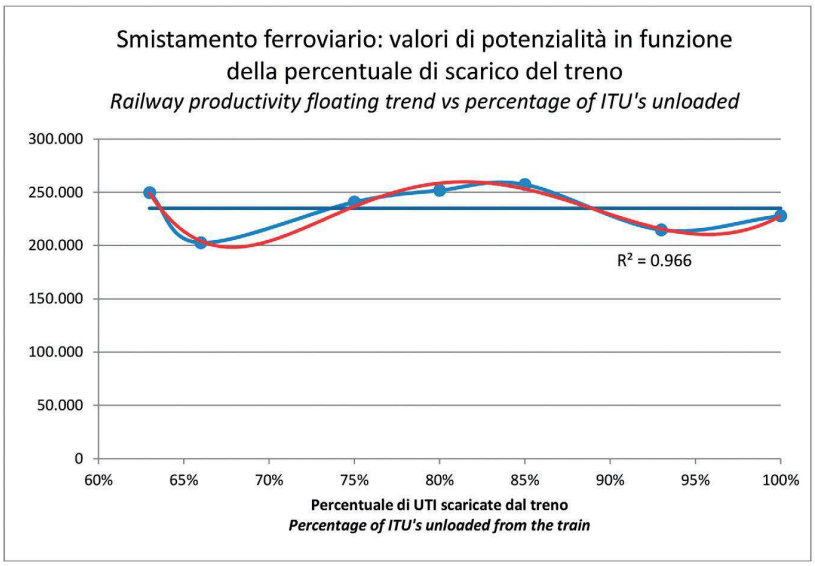

Grafico 2 - Funzione approssimante l'andamento delle UTI per lo smistamento ferroviario.
Diagram 2 - Function which approximates the trend of the ITU's for rail to rail shunting.

Dall'output del programma è stato possibile ricavare anche i tempi di utilizzo di ogni slot dei depositi. È emerso come la scelta della sequenza di carico-scarico influisce anche sui tempi medi di utilizzo dei due depositi: il deposito 2 è infatti molto meno utilizzato perché solo il terzo treno ne usufruisce. Nel caso di treno scaricato completamente, ad esempio, il deposito 2 viene utilizzato per solo il 4,6% del tempo e rimangono liberi in media 21 degli slot per tutto il tempo. Con un'accurata programmazione, questi possono essere utilizzati per lo stoccaggio delle UTI (per tutto il terminale si possono considerare circa 60 posti liberi). Il deposito 1 serve invece per il primo e il secondo treno ed è utilizzato per un minimo di circa 25 e un massimo di circa 80 minuti, contro i 20 minuti dell'altro: valori maggiori perché le UTI devono aspettare le gru che sono impegnate, in questa fase, nel servizio contemporaneo di due treni e degli autocarri.

Per valutare l'influenza dei tempi di arrivo degli autocarri, rispetto alla condizione base sono stati imposti dei ritardi uniformemente distribuiti da 0 minuti ad un valore massimo compreso tra 10 minuti e 2 ore. È risultato che il tempo medio di carico-scarico di un treno risulta influenzato solo per valori di ritardo superiori ai 90 minuti. Per valori di ritardo massimo pari a 2 ore, il tempo medio di servizio dei treni è pari a 2,4 ore, con un incremento di circa il 18% rispetto alla condizione base. Quindi l'arrivo degli autocarri può avvenire comodamente in una finestra

a high dynamic coefficient and of the number of ITU's unloaded.

Essentially, there is a floating trend in the railway productivity around an average value, which involves and balances the two aforementioned elements, namely: the quantity of goods unloaded from the trains and the number of trains served in the time unit. Such floating trend can be appreciated in diagram in light blue, the polynomial function of order 5 and the value average in blue (the data relevant to the unloading of the train equal to 36% has been excluded, because it would affect the approximation and would in any case not be significant for the physical reality of the system).

The polynomial function provides a very good approximation of the data, with a correlation coefficient equal to 0,966. It reports a maximum value of productivity, close to the maximum of the analytical function, with a value of 82%, which corresponds to approx. 260,000 units shunted per year.

As far as the waiting time for the service of the road vehicles is concerned, the minimum values are included between 4.4 and 5.8': the service is that fast mainly when the crane is close to the ITU to be loaded or to the road vehicle, or when a train has just left, and the crane can be dedicated to the sole road vehicles. On the other hand, the max. values reach up to 48': this happens in case of traffic jams under the crane, so that the road vehicles have to wait in a queue. In general, the traffic jam is due to the presence of several road vehicles under the same crane: their queuing for collecting an ITU may obstruct the passage for those which have to enter the most internal aisle; since the model does not allow for the vehicle to either travel in reverse speed or manoeuvre, the road vehicle which does not man-

temporale di un'ora e mezza, senza creare problemi al sistema.

Si vuole notare comunque che nel caso in cui gli autocarri che devono prelevare un'UTI abbiano un ritardo maggiore, l'unica conseguenza per il terminale è che c'è un posto occupato in più nel deposito. Le simulazioni hanno mostrato che in nessun caso entrambi i depositi sono completante pieni, quindi il ritardo non provocherebbe la saturazione del terminale. È stato confermato quindi il parziale utilizzo dei depositi come stoccaggio delle UTI, se previsto dalla programmazione del terminale.

Il ritardo del servizio dei treni aumenta il tempo di ciclo e, conseguentemente, il coefficiente di dinamicità si abbassa. Il valore scende a 4 (quindi un ciclo in meno rispetto alla condizione base) solo per valori superiori ai 105 minuti (grafico 3).

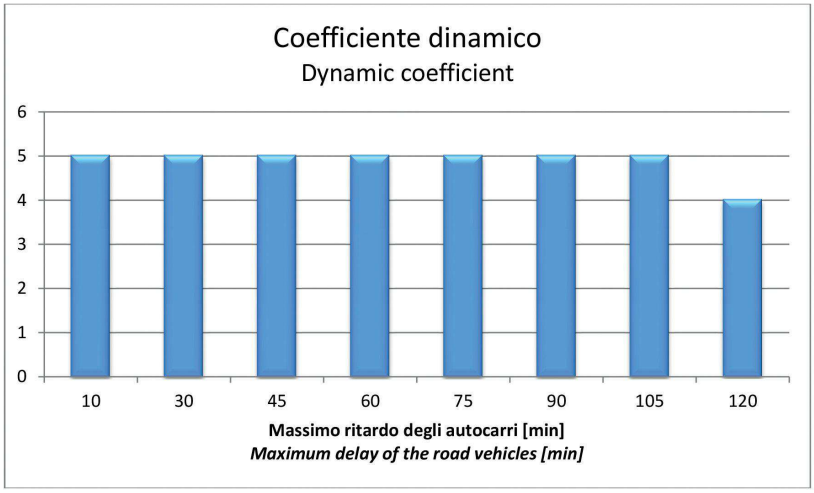

Grafico 3 – Coefficiente di dinamicità per ogni modulo gru rispetto al ritardo massimo degli autocarri.
Diagram 3 – Dynamic coefficient for every crane module versus the maximum delay of the road vehicles.

Particolarmente interessante risulta il rapporto tra il tempo medio di utilizzo degli autocarri e i ritardi degli stessi. I tempi di attesa degli autocarri infatti diminuiscono sensibilmente all'aumentare dei ritardi. Questo succede perché se gli arrivi sono più distribuiti nel tempo è meno probabile che si formino code. La variabilità dei tempi di arrivo, quindi, se il ritardo è compreso entro 100 minuti, non è per il terminale un problema da gestire, ma una risorsa, poiché arrivi con tempi diversi permettono un servizio migliore. Anche in casi estremi, come l'arrivo degli autocarri con ritardo massimo di 10', quindi sostanzialmente tutti insieme, si mantengono buone performance del terminal: il tempo di servizio medio rimane intorno ai 25'.

Per valutare l'indice di performance del terminale, è stato calcolato il rapporto tra il numero di autocarri con tempo di servizio maggiore di 20 minuti e il totale:

$$\%servizi_{>20\,min} = \frac{90}{517} = 17\%$$

Questo valore comprende anche il caso meno favorevole e indica buone performance del terminale. I valori massimi e minimi del caso in esame sono riportati in tabella 4.

age to reach the first place remains jammed and thus obstructs the passage also to all the vehicles in arrival.

The program allowed obtaining also the time of utilisation of the depot slots. It has appeared that the choice of the load-unload sequence also affects the average time of utilisation of the two storage areas: storage area 2 is far less utilised because the sole third train is using it. In case the train is fully unloaded, storage area 2 is utilised for 4.6% of the time only and an average of 21 slots always remain clear. Through accurate planning, such slots can be used to store the ITU's (some 60 places can be considered as free throughout the terminal). Storage area 1, on the other hand, is used for the first and second train and utilised for a minimum of approx. 25 minutes and a maximum of approx. 80 minutes, versus the 20 minutes of the other one: these values are higher since the ITU's must wait for the cranes which are engaged - during this stage - in the concurrent service of the two trains and of the road vehicles.

In order to assess the influence of the arrival time of the road vehicles, delays versus the base conditions have been evenly distributed from 0 minutes up to a maximum value included between 10 minutes and 2 hours. It appeared that the average load/unload time of a train is affected only by

TABELLA 4 – *TABLE 4*

VALORI MINIMI E MASSIMI DEI TEMPI DI SERVIZIO PER GLI AUTOCARRI
MINIMUM AND MAXIMUM VALUES AND OF THE SERVICE TIME FOR THE ROAD VEHICLES

	10 min		30 min		45 min		60 min		75 min		90 min		105 min		120 min	
	Carico *Load*	Scarico *Unload*	Carico *Load*	Scarico *Unload*	Carico *Load*	Scarico *Unload*	Carico *Load*	Scarico *Unload*	Carico *Load*	Scarico *Unload*	Carico *Load*	Scarico *Unload*	Carico *Load*	Scarico *Unload*	Carico *Load*	Scarico *Unload*
min	6	5.1	5.7	6.8	5.4	4.5	5.8	4.2	6.7	4.4	5.7	4.6	5.3	4.7	5.6	4.4
max	59.5	66.4	43.9	33	46.5	20.6	43.5	12.8	40	12.4	42.1	22.4	39.5	9.5	26.4	12.5

Si vede che l'alta probabilità di formazione delle code nel caso di ritardo massimo di 10' causa un tempo di servizio fino ad un'ora. Il valore scende progressivamente fino alla condizione ottimale per gli autocarri (ma non per il terminale), per cui se gli autocarri arrivano in modo quasi isolato, il tempo massimo di servizio è di circa 26'. I valori minimi non variano sostanzialmente né rispetto al caso precedente, né rispetto ai tempi di ritardo, mantenendosi comunque tra i 4 e i 6'.

È stato valutato inoltre il tempo di fermo delle gru (in attesa di lavoro). Il valore minimo (10% del totale) corrisponde ad arrivi distribuiti degli autocarri, quando si ha meno formazione di code. Infatti se c'è una coda la gru che si trova a valle della stessa non riceve autocarri finché questa non si è sbloccata, e quindi rimane ferma per più tempo. Il valore massimo (39%), corrisponde ad alti valori di tempi di ritardo degli autocarri, che fanno aspettare le gru.

Per le prestazioni delle gru, sono stati considerati i seguenti valori limite di velocità:

- traslazione carrello di gru ad elevata produttività oraria: 90÷130 m/min [9];
- scorrimento del portale di gru ad elevata produttività oraria: 60÷120 m/min [9];

a cui va sommato il tempo di sollevamento e di discesa, pari ad 1,4 minuti.

I diversi scenari analizzati fanno riferimento alle coppie di valori (tabella 5) e simulano quindi prestazioni crescenti delle gru.

Il coefficiente di dinamicità non varia, perché anche con la velocità massima, per la condizione base non è possibile ridurre i tempi di servizio dei tre treni fino ad ottenere un coefficiente pari a 6; i movimenti gru all'anno, conseguentemente, non variano molto rispetto alla velocità. Questo indica uno dei limiti del modello: lavorando per cicli di tre treni, se a fine del penultimo ciclo di lavoro rimangono ore lavorative tali da non consentire il completamento di un ciclo, queste ore non vengono contate per la produttività del terminale. Questo non corrisponde alla realtà, poiché è probabile che, anche ad orari diversi, arrivi un treno "isolato", che richiede per esempio un'ora di lavoro delle gru. Il limite del modello è sostanzialmente dovuto alla sola sequenza di carico implementata nel programma.

È comunque possibile valutare la potenzialità effettiva del terminale in 23 ore lavoro, poiché è noto il numero di

TABELLA 5 – *TABLE 5*

VELOCITÀ DELLE GRU PER I DIVERSI CASI
SPEED OF THE CRANE IN THE DIFFERENT CASES

Velocità del carrello [m/min] *Trolley speed [m/min]*	90	98	106	114	122	130
Velocità del portale [m/min] *Crane portal speed [m/min]*	60	72	84	96	108	120

delay values greater than 90 minutes. For maximum delay values up to 2 hours, the average service time of the train is equal to 2.4 hours, with an increment of approx. 18% versus the base conditions. Subsequently, the arrival of the road vehicles may comfortably occur within a time window of one hour and a half, without affecting the system.

It is worth noticing that - in any case - if the road vehicles which need to retrieve an ITU show greater delay, the sole consequence for the terminal is that there will be one more occupied place in the depot. The simulations have shown that in no case both storage areas are completely full; therefore, the delay would not saturate the terminal. This therefore confirms the partial use of the storage area as depot of the ITU's, if included in the programming of the terminal.

The delay in the service of the trains increases the cycle time and - consequently - the dynamic coefficient lowers. The value lowers to 4 (therefore, 1 cycle less than the base condition) only for values greater than 105 minutes (diagram 3).

Of special interest is the relationship between the average time in the utilisation of the road vehicles and the relevant delays. The waiting time of the road vehicles diminishes remarkably with the increase of the delays. This happens because, if the arrivals are more distributed throughout time, queues are less likely to generate. The variability of the arrival time, therefore - if the delay is included within 100 minutes - is not an issue the terminal needs to manage but, rather, a resource, since arrivals at different times allow for better service. Also in extreme cases - such as the arrival of the road vehicles with a maximum delay of 10' - i.e. all of them most at the same time - the terminal keeps a good performance, since the average service time remains within 25'.

In order to assess the performance index of the terminal, we have calculated the ratio between the number of road vehicles with a service time greater than 20 minutes and the total one, namely:

$$\%services_{>20\,min} = \frac{90}{517} = 17\%$$

This value includes also the least favourable case and shows a good performance of the terminal. The maximum and minimum values of the case under exam are reported in table 4.

It can be noticed that the high likelihood of generating queues in case of a max. delay of 10' causes a service time of up to one hour. The value progressively lowers down to the optimum condition for the road vehicles (but not for the terminal); therefore - if the road vehicles arrive at great time distances from one another, the max. service time is approx. 26'. The minimum values do not vary substantially versus either the previous case or the delay time, which is in any case kept between 4 and 6'.

The downtime of the cranes (awaiting operation) has been assessed as well. The minimum value (10% of the to-

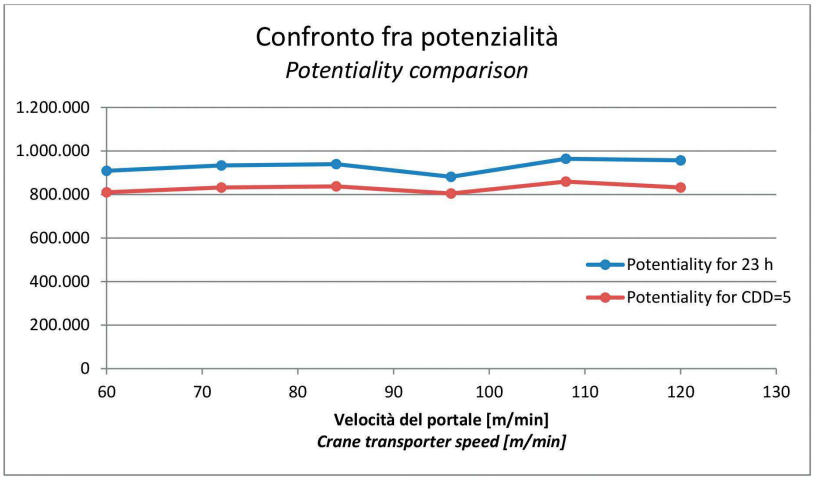

Grafico 4 - Diversi valori di potenzialità in funzione della velocità della gru.
Diagram 4 - Different potential values as a function of the crane speed.

movimenti gru nel tempo di ciclo e la lunghezza del tempo di ciclo (grafico 4). L'incremento da apportare per ottenere la potenzialità *assoluta* varia dal 12% al 15% rispetto al valore risultato dalle simulazioni. I valori sono crescenti per velocità crescenti, perché il tempo di esecuzione di cinque cicli diminuisce all'aumentare della velocità delle gru[4].

La potenzialità che corrisponde alla massima velocità del portale ed è pari a 957.030 movimenti gru all'anno. Risulta un incremento del 5% rispetto al valore minimo (pari a 909.117 movimenti gru all'anno), a fronte di un incremento del 100% della velocità del portale (da 60 m/min a 120 m/min) e del 44% del carrello (da 90 m/min a 130 m/min).

Visto il limitato incremento di potenzialità a fronte di un elevato aumento delle velocità delle gru, potrebbe essere opportuno lavorare in condizioni ordinarie con velocità medie ed alzarle in caso di ritardi da recuperare.

Diverse scelte dei valori di velocità, quindi, se compresi nei valori scelti (relativi a gru *ad elevate prestazioni*) non influiscono sostanzialmente nella potenzialità del terminal. Influiscono però nei tempi di attesa delle gru, che aumentano dal 15% al 25% rispetto alla velocità del portale.

6.2. Sintesi dei guasti

È stata eseguita un'analisi tipo bottom-up, che analizza l'effetto del fermo di una delle tre gru sulle prestazioni dell'intero sistema.

Tra le tecniche di trasbordo strada-rotaia, la gru a

tal) corresponds to distributed arrivals of the road vehicles, when there is a lower generation of queues. In case of a queue, the crane which is located downstream the queue does not receive any road vehicles until the queue is cleared, and therefore remains at standstill for longer time. The max value (39%) corresponds to high values in the delay time of the road vehicles, which force the cranes to wait.

As related to the performance of the crane, the following speed limit values have been taken into consideration:

- *transfer of the crane truck with high hourly productivity: 90÷130 m/min [9];*
- *transfer of the gantry crane trolley with high hourly productivity: 60÷120 m/min [9];*

which is to be added to the lifting and lowering time, equal to 1.4 minutes.

The different scenarios analysed refer to the pairs of values (table 5) and therefore simulate increasing performance of the cranes.

The dynamic coefficient does not vary because - even at maximum speed - the base condition does not allow reducing the service time of the three trains so to gain a coefficient up to 6; subsequently, the crane movements per year do not vary much as related to speed. This shows one of the limits of the model: when working by three-train cycles - if three working hours remain before the last working cycle, which would not allow completing one cycle - such hours are not counted in the productivity of the terminal. This does not correspond to the reality, since an "isolated" train, which calls - for instance - for one hour of crane operation, may arrive even at a different time. The limit of the model is essentially due to the sole loading sequence implemented into the program.

Nevertheless, this allows assessing the actual throughput of the terminal in 23 working hours, since the number of crane movements within the cycle time and the length of such cycle time are known (diagram 4). The increment to be made to obtain the absolute throughput varies between 12% and 15% versus the value which results from the simulations. The values are increasing for higher speeds, because the time by which five cycles are performed decreases at the increasing speed of the cranes[4].

The productivity that corresponds to the maximum speed of the gantry crane portal and is equal to 957,030 crane movements per year. This generates a 5% increment

[4] La potenzialità massima è comunque 996.000 mov/anno, eseguiti in 23 ore lavorative.

[4] *The max. throughput or productivity is in any case of 996,000 movements/year, performed in 23 working hours per day.*

portale è uno dei sistemi con meno elementi in possibilità di guasto: è in effetti un sistema relativamente semplice. Tuttavia possono intercorrere dei guasti quali:

- guasto meccanico ai mezzi di sollevamento (motore, giunto, freno, funi…),
- guasto meccanico ai mezzi di traslazione e scorrimento (motori, freni, ruote…),
- guasto al software o all'hardware,
- UTI difettosa,

i quali possono causare la sospensione del carico nello spazio o l'arresto dei movimenti di scorrimento e di conseguenza la sospensione del servizio.

Non sono stati quindi presi in considerazione guasti che portano a conseguenze gravi (incendio, caduta del carico, crollo della struttura, eccesso di velocità del portale…), perché questi presupporrebbero probabilmente il fermo di tutti i moduli gru, e perderebbe d'interesse la simulazione mediante software. Il tipo di guasto rimane non specificato, poiché non è scopo dello studio minimizzare la probabilità di rottura della gru attraverso il miglioramento delle sue componenti. È determinato invece il tempo di fermo della stessa, per valutare come peggiora il servizio all'aumentare del tempo di fermo.

Viene simulato dunque il fermo della gru e la chiusura del traffico nello spazio competente alla stessa, in attesa della riparazione e, eventualmente, per permettere ad uno *reachstacker* di recuperare il carico sospeso passando dalle corsie riservate agli autocarri.

Lo scopo è la valutazione di come il sistema reagisce al ritardo, attraverso l'analisi dei tempi di attesa degli autocarri e dei treni, e di come il ritardo si propaga nel tempo. In particolare, imposto il fermo all'inizio della giornata lavorativa di 24 ore, è stato valutato, in funzione della lunghezza del fermo, se il "tempo cuscinetto" alla fine della giornata è sufficiente. Nel caso di guasto ad una gru, il lavoro da questa non eseguito potrebbe essere fatto dalle altre due gru in funzione, diminuendo le prestazioni complessive del sistema (che lavora quindi con due sole gru su tutta la lunghezza delle rotaie), ma anche riducendo i tempi di attesa per gli autocarri destinati alla gru non in funzione, che altrimenti devono aspettare nel parcheggio. Nel programma di simulazione non è previsto che una gru subentri nell'area di lavoro di un'altra, quindi non è stato possibile simulare questa soluzione.

Il tempo di fermo alla gru è stato imposto con le condizioni del modello base e con la velocità massima delle gru. Come prima anticipato, il guasto è stato imposto all'inizio della giornata lavorativa, in un tempo stabilito in modo casuale compreso entro le prime due ore. Il fermo guasto imposto ha valori uniformemente crescenti da mezz'ora a 3,5 ore.

In funzione del tempo di guasto, è stata calcolata la probabilità che il terminale riesca a recuperare il ritardo nella stessa giornata lavorativa, basandosi su un campio-

versus the minimum value (equal to 909,117 crane movements per year), as a result of a 100% increment in the speed of the portal on rails (from 60 m/min to 120 m/min) and of 44% in the one of the trolley (from 90 m/min to 130 m/min).

Because of the limited increment in the throughput in case of a significant increase of the gantry crane speed, it might be appropriate to work in ordinary conditions at medium speeds and increase them in case of delays to be recovered.

Different choices in the speed values, therefore, as long as they are included within the selected range (relevant to high-performance gantry cranes), do not substantially affect the throughput of the terminal. Yet, they would lengthen the waiting time of the gantry cranes, which increases from 15% to 25% as related to the speed of the crane on the rails.

6.2. Outline of the failures

A bottom-up analysis has been performed to analyse the consequences of the downtime of one of the three gantry cranes on the overall performance of the system.

Amongst the road-rail techniques, the gantry crane is one of the systems which feature the lowest number of potentially failing elements, since it is relatively simple. Nevertheless, failures may occur, such as:

- *mechanical failure to the lifting means (motor, joint, brake, ropes, etc.),*
- *mechanical failure to the transfer and sliding means (motors, brakes, wheels, etc.),*
- *software or hardware failures,*
- *defective ITU,*

which may cause the load to hang on within the space, or the stop of the sliding movements and - consequently - the stoppage of the service.

We have therefore not taken into consideration those failures which involve severe consequences (e.g. fire, falling of the load, collapse of the structure, excessive speed of the gantry crane on rails, etc.), because they would most likely stop all the crane modules, and the software simulation would subsequently no longer be of interest. The type of failure remains unspecified, since this study was not aimed at minimizing the likelihood of a crane to break through by improving its components. On the other hand, its downtime is determined to assess the degrading of the service in case of longer downtime.

The simulation therefore deals with the stoppage of the crane and the closing of the traffic in the relevant area, awaiting repair and - in case - to allow a reachstaker to recover the hanging load passing through the aisles reserved to the road vehicles.

The purpose is to assess how the system reacts to the delay, through the analysis of the waiting time of both the road vehi-

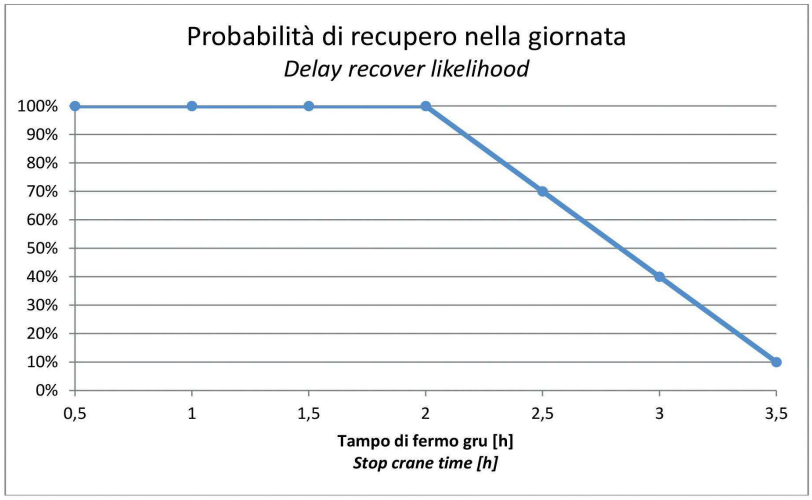

Grafico 5 - Probabilità di recupero del ritardo nella giornata.
Diagram 5 - Likelihood of recovering the delay within the day.

ne di 10 simulazioni per ogni valore del tempo di guasto (grafico 5).

Il tempo di fermo risulta essere rilevante se superiore a 2 ore. Nel caso di fermo pari a 2,5 ore, infatti, in 3 casi su 10 il sistema non ha terminato i cinque cicli operativi. Tuttavia nei tre casi alle ore 24:00 rimangono in media 4 UTI da spostare, valore che si può ritenere poco rilevante, se si considerano i tempi di non operatività dovuti agli arrivi casuali degli autocarri (con ritardo fino a un'ora). Il numero di UTI in attesa sale in modo rilevante nell'ultimo caso (fermo gru pari a 3,5 ore): restano in media 18 UTI da spostare (quindi metà del carico dell'ultimo treno) e nel caso peggiore ne rimangono 28 (quindi quasi l'intero carico del treno).

Si può dire quindi che un fermo gru di oltre tre ore e mezza non è recuperabile con tempo cuscinetto di 2,6 ore: sostanzialmente il sistema, *senza variare le velocità operative delle gru*, riesce a recuperare al massimo circa mezz'ora del ritardo. Probabilmente ciò avviene grazie alla formazione della coda degli autocarri in attesa della riparazione della gru, che sono subito pronti per essere serviti una volta che questa è operativa.

Confrontando il valore del ritardo alla fine del primo ciclo di tre treni ed alla fine della giornata lavorativa è emerso inoltre che il ritardo rispetto alle condizioni operative normali si prolunga nel tempo in modo non lineare: lungo la giornata, questo viene smorzato. In entrambi i casi la relazione fra tempo di fermo della gru e ritardo del sistema è lineare rispetto al tempo di fermo gru. Tuttavia il ritardo per il primo ciclo operativo risulta maggiormente influenzato dal valore di fermo gru rispetto al ritardo per l'intera giornata. Infatti nel primo caso il coefficiente angolare della retta che approssima i valori risulta maggiore rispetto al coefficiente della retta del secondo (rispettivamente, valgono m_1=0,972 e m_2=0,766). Considerando che il valore del coefficiente di correlazione in entrambi i casi è molto vicino a 1 (rispettivamente, R^2_1=0,99 e R^2_2=0,95) e che quindi le

cles and the trains, and how such delay extends in time. In particular, setting the downtime at the beginning of the 24-hour working day, we have assessed - as a function of the length of such downtime – whether the "safeguard time" at the end of the day would be sufficient. In case of a failure to a crane, the activity not performed by the latter could be covered by the two other cranes in operation, thus reducing the overall performance of the system (which would work with only two cranes on the whole length of the rails), but also reducing the waiting time for the road vehicles allocated to the non-operational crane, which would otherwise need to wait at the parking lot. The simulation program does not assume a crane to enter the working area of another one; subsequently, this solution could not be simulated.

The downtime of the crane has been set at the conditions of the base model and at the max. speed of the crane. As anticipated, the failure has been set at the beginning of the working day, in a randomly established time included within the first two hours. The set failure downtime shows evenly increasing values which range from half an hour to 3.5 hours.

As a function of the failure downtime, we have calculated the likelihood that the terminal manages to recover the delay within the same working day, on the basis of a sample of 10 simulations for every failure downtime value (diagram 5).

The downtime is significant if higher than 2 hours. In case of a 2.5-hour downtime, in 3 cases out of 10 the system would not complete the five operational cycles. However, in the three cases, there is still an average of 4 ITU's to be handled at the end of the 24 hours; such value can be considered of little significance, because of the downtime due to the random arrival of the road vehicles (with delays up to one hours). The number of waiting ITU's rises significantly in the last case (downtime equal to 3.5 hours: as an average, 18 ITU's are still to be handled (i.e. half the load of the last train) and - in the worst case - 28 of them (i.e. almost the whole load of the train).

It can therefore be stated that a crane downtime of over three hours and a half cannot be recovered through a safeguard time of 2.6 hours: essentially, the system manages to recover a max. amount of half an hour without changing the operational speeds of the cranes. Most likely, this is due to the generation of queues of the road vehicles while the crane would be repaired, which are immediately ready to be served once the crane is operational.

Furthermore, if the value of the delay is compared to the end of the first cycle of three trains and to the end of the working day, it appears that the delay versus the standard operational conditions extends in time in a non-linear trend: it is dampened along the day. In both cases, the ratio between the downtime of the crane and the delay of the system is linear as related to the crane downtime. Nevertheless, the delay for the

rette approssimano bene i valori trovati, si può dire che nel periodo più prossimo al guasto il valore del ritardo è molto vicino al tempo di guasto della gru e che nei tempi successivi questo valore diminuisce, seppure leggermente.

Un'analoga relazione è stata trovata per i tempi di servizio agli autocarri. È emerso che gli autocarri devono aspettare per un tempo pari al tempo di guasto della gru: il coefficiente angolare della retta interpolante in questo caso è infatti pari a 1,028. Questo accade probabilmente perché l'attesa degli automezzi al parcheggio crea la condizione ottimale per il servizio che avverrà quando la gru è nuovamente in funzione. Infatti non si ha in questo modo la creazione di ingorghi nella corsi di carico-scarico sotto gru, e non appena la gru rientra in funzione gli autocarri vengono serviti.

La funzione lineare può essere adatta anche per i dati riferiti ai ritardi per il treno servito al momento del guasto e per il treno che arriva quando la gru è ancora in riparazione. Anche nel caso di guasto della durata di 3,5 ore, il ritardo non supera questo valore, quindi il sistema, nuovamente, propaga il ritardo in modo lineare, senza particolare criticità. Nonostante il treno 2 arrivi solo 30' dopo il primo, in ogni caso risente meno del ritardo.

Maggiori velocità delle gru, come indicato, non aumentano le potenzialità in termini di più cicli operativi al giorno eseguiti, ma diminuiscono i tempi di attesa per gli autocarri, quindi migliorano il servizio offerto. Poiché aumenta il tempo cuscinetto in condizioni ordinarie, nel caso di gru a velocità massima aumenta la probabilità di recupero di ritardo nella giornata (con riferimento al grafico, si ha 100% anche per un ritardo pari a 2,5 ore). Quindi gru più performanti migliorano il servizio offerto perché aumentano il tempo cuscinetto e riducono i tempi di servizio per gli autocarri. Questo non vale tuttavia per i treni, che sembrano subire un ritardo sostanzialmente uguale al caso precedente.

Nel caso in cui la manutenzione giornaliera non possa prevenire il guasto di una gru risolvibile in tempi brevi, è possibile ricorrere ai mezzi presenti nel terminale per effettuare il lavoro che la gru guasta non può fare. È una soluzione che naturalmente diminuisce la potenzialità del terminale rispetto alle condizioni ordinarie. Per questo il terminale Hupac di Busto Arsizio (fig. 7) prevede l'intervento immediato dei meccanici in lavoro al terminale per ripristinare il funzionamento della gru; essendo infatti le gru a portale molto ravvicinate, non vengono utilizzati mezzi sostitutivi.

first operational cycle is more severely affected by the crane downtime versus the delay for the whole day. In the former case, the angular coefficient of the line which approximates the values results to be greater than the line coefficient of the latter (they are respectively worth m_1=0,972 and m_2=0,766). Since the value of the correlation coefficient is in both cases very close to 1 (respectively, R^2_1=0,99 and R^2_2=0,95) and - therefore - the lines approximate well the values found, we can therefore say that - in the nearest time to the failure - the value of the delay is very close to the downtime of the crane, and it diminishes - even though slightly - in the subsequent time.

A similar ratio was found for the service time of the road vehicles. It appears that the road vehicles need to wait for a time which is equal to the crane failure one: the angular coefficient of the interpolation line in this case is 1.028. This is likely to occur because the waiting of the road vehicles at the parking lot created the optimum condition for the service which would take place once the crane is back to service. This would not generate any jams in the load-unload aisle under the crane, and the road trains would be served as soon the crane comes back into service.

The linear function can also be appropriate for the data relevant to the delays for the train served at the moment of the failure and for the one which arrives while the crane is still being repaired. Also in case of 3.5 hour-long failures, the delay would not exceed this value, then the system would propagate again the delay linearly, with no special criticalities. Even though the second train arrives only 30 minutes after the first one, it is in any case be less affected by the delay.

Higher speeds of the crane - as indicated - do not increase the throughput or productivity in terms of more operational cycles performed per day, but reduce the waiting time for the road vehicles, and therefore improve the service offered. Since the safeguard time increases in ordinary conditions, in case of cranes at the highest speed the opportunity of recovering the delay within the day increases (with reference to diagram 100% is reached even in case of a 2.5-hour delay). Therefore, more performing cranes improve the service offered since they increase the cushion and reduce the service time for the road vehicles. Nevertheless, this does not apply to the trains, whose delay seems to be essentially equal to the previously mentioned one.

In case the daily maintenance cannot prevent the failure of a crane which can be solved in a short time, the means present in the terminal can perform the activities which should be carried out by the failing crane. Obviously, this solution reduces the potential of the terminal versus

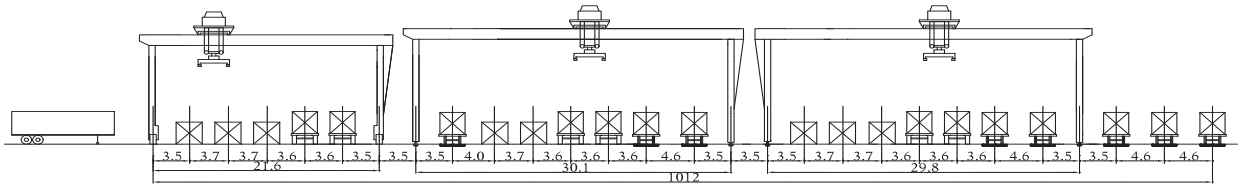

Fig. 7 - Sezione del terminale di Busto Arsizio [7].
Fig. 7 - Section of the Busto Arsizio terminal [7].

È opportuno quindi che la squadra dei meccanici, pronti ad intervenire, possa in caso di necessità sostituire il pezzo non più funzionante, se non è riparabile.

Poiché comunque può essere necessario operare temporaneamente con due gru a portale, è opportuno valutare in che misura il terminale perde di efficienza. Questo può essere fatto attraverso i seguenti grafici, che mostrano la quantità di movimenti gru in un'ora nel caso di modulo gru operante con tre (grafico 6) o due macchine (grafico 7).

Nel caso di tre gru per ogni modulo gru si ha una poten-

the ordinary conditions. This is why the Hupac in Busto Arsizio (figure 7) resorts to the immediate intervention of the mechanics appointed to the terminal to restore the operation of the crane; since the gantry cranes are set very close to one another, no replacement means are utilised.

It would be therefore useful that the team of mechanics ready to intervene can - if required - replace the faulty part, unless it can be repaired.

Since it may be necessary to operate temporarily with two portal cranes, it would be appropriate to assess to the actual

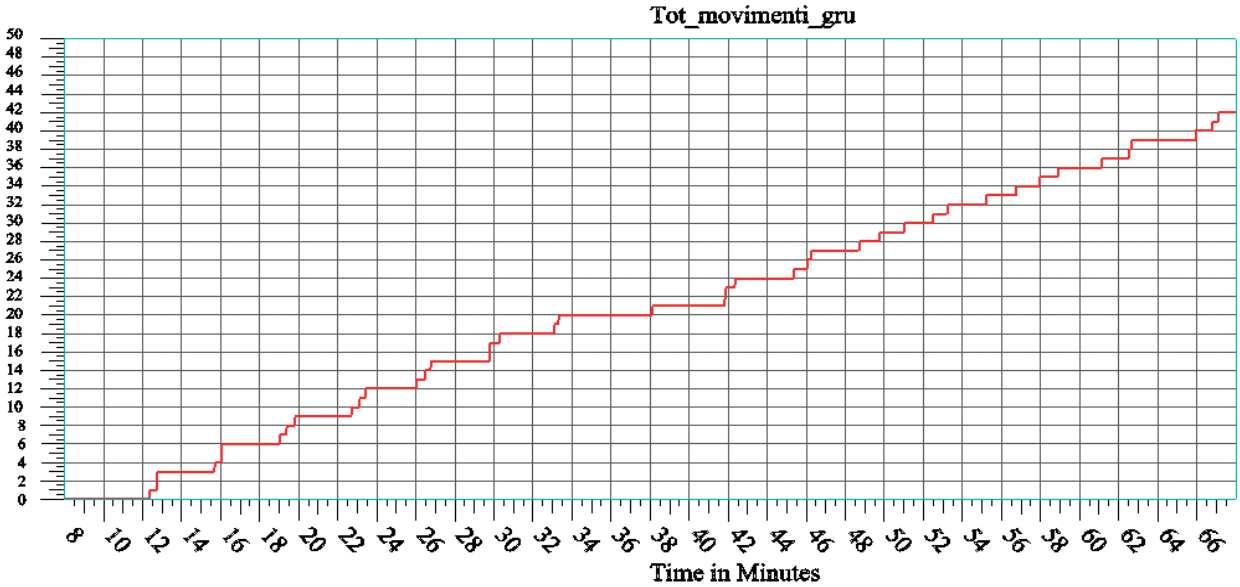

Grafico 6 - Numero di movimenti gru rispetto al tempo in condizioni ordinarie.
Diagram 6 - Number of crane movements versus the time in ordinary conditions.

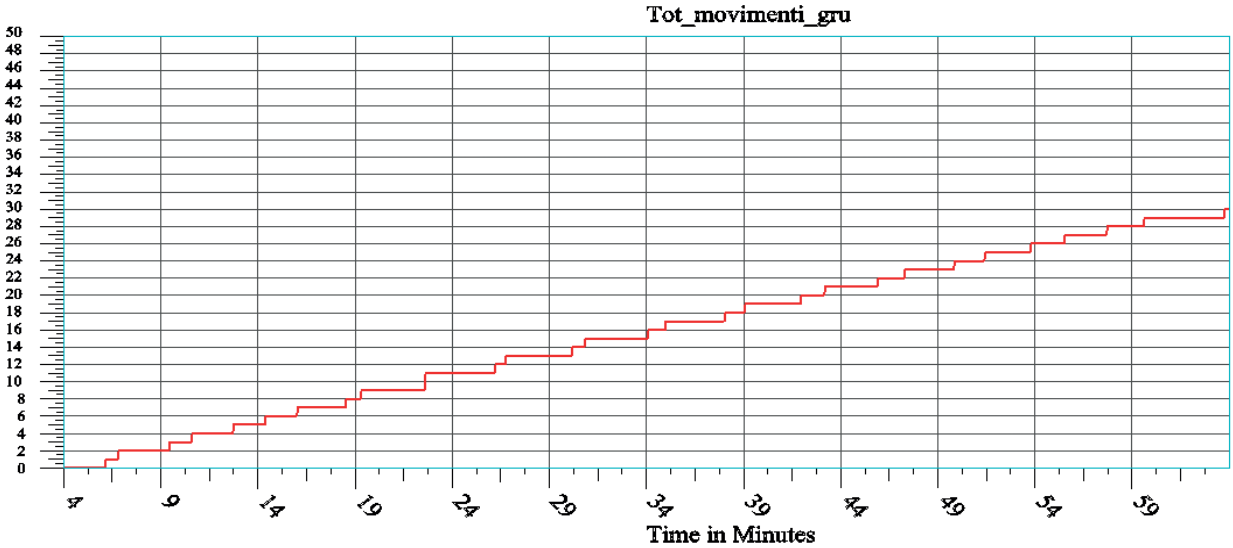

Grafico 7 - Numero di movimenti gru rispetto al tempo in condizioni di guasto.
Diagram 7 - Number of crane movements versus the time in failure conditions.

zialità pari a 42 movimenti gru all'ora, nel caso di due gru il numero scende ad un valore compreso tra 22 e 30 movimenti all'ora (il grafico 7 è riferito a quest'ultimo caso). I dati relativi alle condizioni di guasto sono riferiti a dieci simulazioni e hanno un valore medio pari a 26 movimenti gru all'ora. La variabilità dipende soprattutto dagli spostamenti longitudinali che la gru deve eseguire per caricare le UTI.

Dunque nel caso in cui una delle gru subisse un guasto e le altre due ne coprissero il lavoro, la potenzialità diminuirebbe in media del 38%:

$$\frac{42-26}{42}=0{,}38$$

con valori compresi tra il 28% e il 46%.

Occorre specificare che nelle due condizioni le gru hanno velocità diverse: nel caso di esercizio con due gru è stata impostata la velocità massima, per minimizzare i ritardi.

7. Conclusioni

Lo studio ha permesso di proporre – data una superficie già compromessa e rinnovabile con interesse tecnico – la produttività massima, intesa come movimenti di UTI/anno, che si può ottenere dalla medesima mediante una simulazione complessa.

Si sono potuti anche valutare gli effetti sulla potenzialità derivanti da un differente bilanciamento tra una funzione solo di terminal *gateway* o solo per il trasporto combinato strada-rotaia attribuita al terminal.

L'analisi ha permesso di stabilire, nel caso specifico, che nell'area in oggetto di studio – distinta per necessità applicative ma di connotazioni generiche - potrebbe inserirsi un terminale composto da tre moduli gru uguali, inclusivi ciascuno di tre binari operativi, due corsie di carico-scarico per gli autocarri, due depositi temporanei per le UTI, una corsia di scorrimento, un parcheggio a pettine per gli autocarri e quattro binari di sosta e manovra. La soluzione adottata ipotizza di spostare tutti i tipi di UTI attraverso gru a portale dotate di *spreader* universale, di lavorare su treni composti al massimo da 35 carri e d'adottare una soluzione per il problema del cambio trazione; permette altresì di *massimizzare l'utilizzo dell'area*, perché l'attrezzatura adottata richiede il minimo ingombro per la manovra ed è possibile sfruttare le linee ferroviarie di confine già esistenti, collegate all'area: verso Torino, Genova, Piacenza, Milano. La scelta effettuata è il risultato di ipotesi vincolanti, di carattere sostanzialmente dimensionale e di forma del perimetro dell'area di studio. Ipotesi diverse possono beninteso portare ad altre soluzioni, adatte ai nuovi vincoli richiesti; il progetto s'inserisce tuttavia in un *contesto generale di soluzioni possibili* per l'utilizzo dell'area. Queste possono essere confrontate tra loro e lo studio si connota sostanzialmente come uno strumento di macro-progettazione e d'ausilio per il decisore pubblico, oltreché per l'ingegnere che dimensiona e simula le soluzioni progettuali del terminal.

loss of efficiency of the terminal. This can be done through the following diagrams, which show the quantity of crane movements in one hour, in case of a crane module operating through three (diagram 6) or two machines (diagram 7).

In the case of three cranes, every crane module shows a potential of 42 movements per hour; in case of two cranes, the figure lowers to a value between 22 and 30 movements per hour (diagram 7 is referred to this last case). The data relevant to the failure conditions are referred to ten simulations and have an average value equal to 26 crane movements per hour. The variability mainly depends on the lengthwise movements the crane has to perform to load the ITU's.

Subsequently, if one of the cranes were failing and the other two ones had to cover its functions, the average productivity would be reduced by 38%:

$$\frac{42-26}{42}=0{,}38$$

with values included between 28% and 46%.

In must be specified that - in either condition - the cranes have different speeds: in case of operation with two cranes, the maximum speed has been set to minimize the delay.

7. Conclusions

The study – which has been developed through a complex simulation - has allowed to propose - given a surface which is already compromised being occupied by a marshalling yard and is renewable with technical interest - the maximum productivity (i.e. handling operations of ITU's/year) which can be obtained in mentioned area.

Effects could also be assessed on the throughput which can be obtained from a gateway terminal function only, or for the sole road-rail combined transport allocated to the terminal itself.

The analysis has allowed to establish, in the specific case, that subject area - which is distinct for application requirements but shows generic features - could host a terminal consisting of three identical crane modules, each of them would include three operational tracks, two load-unload aisles for the road vehicles, two siding areas for the ITU's, a sliding surface, a cross parking for the road vehicles and four holding and shunting tracks. The solution adopted assumes that all the types of ITU's should be handled through gantry cranes provided with universal spreaders; the operations should be performed on trains consisting of a maximum of 35 wagons and a solution for the change of traction should be adopted; this would also allow maximising the utilization of the area, *because the equipment adopted consents the minimum occupancy of the area for manoeuvre and the existing bordering railway lines, which are connected to the area: towards Turin, Genoa, Piacenza and Milan. The choice made is the result of binding assumptions, which are substantially linked to the size and shape of the area in exam. Obviously, different assumptions may lead to other solutions, as appropriate to the new re-*

La simulazione ipotizza che la rete ed il mercato siano in grado di generare ed assorbire elevate quantità di treni, prescindendo quindi dall'effettiva domanda di traffico localizzata nell'intorno del terminale e dalla potenzialità e capacità delle linee. Il terminale comunque si prefigura in un sistema di rete complesso, tipo quello *hub-and-spoke*, che ottimizza il trasporto merci su rami principali, avendo un'alta frequenza di treni intermodali, in maggioranza a composizione bloccata.

Dalle simulazioni emerge che il terminale così ipotizzato è in grado di assorbire dalla rete un treno ogni 44-50' circa, considerando che ogni treno venga scaricato completamente e che il tempo massimo di servizio di un treno sia pari a 2,5 ore, con un numero minimo di coppie treni serviti al giorno è pari a 36 e una produttività pari a 985.500. Il valore massimo di UTI per lo smistamento ferroviario è pari a 260.000 unità, sufficiente quindi a movimentare l'import-export piemontese sulla base dei dati usati per lo studio. Entrambi questi parametri hanno un andamento oscillante attorno ad un valore medio, che deve equilibrare il numero di UTI scaricate dai treni e il numero di treni serviti, il valore massimo delle UTI per il trasporto combinato, invece, è pari a 459.900 unità. Il tempo medio di servizio agli autocarri è compreso tra i 5 e i 25', ma dipende fortemente dai tempi di arrivo degli autocarri, che dovrebbero essere distribuiti in una finestra di 105'.

Il deposito non ha funzione di stoccaggio, ma di deposito temporaneo delle UTI. Secondo la sequenza di carico scelta, comunque, esiste un margine di stoccaggio per uno dei due depositi, che ha circa 20 posti liberi per ogni ciclo, e comunque non è utilizzato per più del 15% del tempo. Non sono inoltre contemplate le funzioni di magazzino o di consolidamento/deconsolidamento, né le operazioni doganali. Per avere un terminale che soddisfi anche queste esigenze è necessario utilizzare ulteriori superfici rispetto a quella considerata in questo studio.

L'analisi ha dei limiti, poiché risulta condizionata dalla sequenza di carico scelta. Ad esempio, la potenzialità può essere valutata dal modello solo per cicli di tre treni e non considerando l'arrivo di un treno per il solo trasporto combinato. La potenzialità *assoluta* quindi è stata calcolata con un metodo più approssimativo, ottenendo un incremento del 15% rispetto al valore risultato dalle simulazioni. Inoltre, la formazione di code avviene in conseguenza ai percorsi imposti agli autocarri, i quali non prevedono la retromarcia e un raggio di sterzatura diverso da 15 m, come accadrebbe nella realtà, che permetterebbe di smaltire la coda. D'altra parte ha permesso di calcolare la potenzialità considerando diversi elementi non deterministici, in modo che le simulazioni e i relativi risultati fossero influenzati il meno possibile dalle scelte del programmatore. Ad esempio, lo spostamento delle UTI e l'arrivo degli autocarri sono determinati in modo casuale ma comunque controllato.

La progettazione del terminale ha richiesto un'*analisi dei guasti*, che ha valutato le conseguenze del fermo gru: un ritardo che si propaga nel sistema linearmente, con

quested constraints; the project is however within a general context of viable solutions *for the utilization of the area. Such solutions can be compared and the study is substantially characterized as a macro-design and support tool for the public decision-maker, as well as for the engineers who size and simulate the design solutions of the terminal.*

The simulation assumes that the network and the market are up to generate and absorb high quantities of trains, irrespectively - therefore - on the actual demand of traffic around the terminal or on the carrying and daily capacity of the lines. In any case, the terminal prefigures as a complex network system, such as the hub-and-spoke one, which optimizes the transport of goods on main branches, with high frequency of intermodal trains, most of which are in frozen composition.

The simulations show that the terminal assumed in these terms can absorb from the network a train every 44 to 50 minutes approx., assuming that every train is completely unloaded and that the maximum service time of a train is equal to 2.5 hours, with a minimum value of 36 pairs of trains served per day and a productivity equal to 985,500. The maximum value of ITU's for railways sorting is equal to 260,000 units, which is therefore sufficient to handle the import-export of Piedmont, according to the data used for the study. Both these parameters oscillate around an average value, which must balance the number of ITU's unloaded from the train to the number of trains served; on the other hand, the max. value of ITU's for combined transport is equal to 459,900 units. The average service time to the road trains is included between 5 and 25', but it largely depends on the arrival time of the road vehicles, which should be distributed throughout a window of 105 min.

The storage area is not used for warehousing, but only as temporary depot of the ITU's. The selected load sequence, however, ensures a storage margin of one of the two areas, i.e. approx. 20 places available for every cycle, which are in any case not used for more than 15% of the time. Furthermore, this does not include the warehousing or consolidation/deconsolidation functions, or the customs operations. For the terminal to meet these requirements as well, further surfaces should be added to those which have been considered in this study.

The analysis shows limits, since it seems to depend on the selected loading sequence. For instance, the throughput can be assessed by the model only for cycles of three trains and not considering the arrival of a train for the sole combined transport. The absolute *productivity has therefore been calculated more approximately, thus achieving an increment of 15% versus the value obtained in the simulations. Furthermore, the generation of queues is the consequence of the routing dictated to the road vehicles, which do not allow for reverse speed and a steering radius different from 15 m, as it would occur in reality and allow for clearing the queue. On the other hand, such analysis allowed calculating the productivity on the basis of several non-deterministic elements, so that the simulations and the relevant results are influenced as little as possible by the choices of the programmer. For instance, the handling of the ITU's and the arrival of the road vehicles are determined random, but in any case in a controlled way.*

un leggero smorzamento nel tempo. È stata calcolata inoltre la potenzialità del terminale in condizioni degradate, che causano una riduzione media del 38% dei movimenti gru, considerando due gru operative con velocità massima, con un valore minimo del 28% ed un valore massimo del 46%: questo valore dipende soprattutto dai movimenti longitudinali che la gru deve eseguire per trovare un posto libero nel deposito e quindi dalla percentuale di UTI scaricate.

Questo tipo di progettazione, in sostanza, consiste nella determinazione della potenzialità dell'area prescindendo dalla conoscenza della matrice O-D, quindi strettamente legata alla situazione locale. Permette quindi di determinare l'*offerta* del servizio. Determinata la potenzialità dell'area, potrebbe essere utile eseguire uno studio che confronti la *domanda* reale di traffico, anche in termini di origini e destinazioni, con le prestazioni offerte. In questo modo si potrebbe simulare anche l'esercizio della rete, che risulta essere un elemento fondamentale nella funzione del terminale. Si porrebbero inoltre le basi per un'analisi costi/benefici, fondamentale nella scelta della pianificazione del territorio [10]. A questo proposito, si potrebbe pensare ad una costruzione del terminale progressiva, essendo i tre moduli indipendenti, per avere un riscontro reale del mercato e valutare l'aumento della domanda in funzione dell'offerta di trasporto. In questo modo i diversi strumenti disponibili verrebbero a creare un elemento unitario utile per la valutazione dell'utilizzo del suolo e dei servizi da offrire alla società.

The engineering and design of the terminal has called for a failure analysis *which has assessed the consequences of the crane downtime: a delay which propagates linearly throughout the system, with slight dampening in time. Furthermore, we have calculated the throughput of the terminal in degraded conditions, which generate an average reduction of 38% of the crane movements, considering two operational cranes at maximum speed, with a minimum value of 28% and a maximum one of 46%: this value depends mainly on the lengthwise movements the crane must perform to find a free place in the storage area and - therefore - on the percentage of ITU's unloaded.*

Essentially, this kind of design consists of determining the throughput of the area irrespectively on the knowledge of the O-D matrix, i.e. strictly linked to the local conditions. This therefore allows determining the supply of the service. Once the potential of the area is determined, it might be useful to run a study and compare the actual demand of traffic, also in terms of origin and destination, to the performance offered. This would allow simulating also the service of the network, which results to be an essential element in the function of the terminal. Furthermore, this would set the basis for a cost/benefit analysis, which is essential in selecting the planning of the territory [10]. To this purpose, a progressive building of the terminal could be taken into account - since the three modules are independent - in order to have an actual verification of the market and evaluate the increase of the demand as a function of the transport supply. Thus, the different tools available would create a unitary element for the assessment of the use of the land and of the services to be provided to the society.

BIBLIOGRAFIA – *REFERENCES*

[1] Podevins O., "*Sea Port system and the inland terminals network in the enlarged European Union",* s.l.: IEEE Computer Society, 2007.

[2] Dalla Chiara B., Pellicelli M., *"On the cost of road-rail combined transport / Sul costo del trasporto combinato strada rotaia",* [ed.] Ingegneria Ferroviaria, 11, Roma: CIFI, November 2011, Vol. LXVI, pp. 951-965. ISSN: 0020-0956..

[3] Bryan J., Weisbrod G., Martland C.D., *"Rail Freight as a Means of Reducing Roadway Congestion: Feasibility Considerations for Transportation Planning",* s.l.: TRB 2007, Annual Meeting CD-ROM, 2006.

[4] Janic M., *"Modelling the full costs of an intermodal and road freight transport network",* 2007.

[5] Piccioni C., Antoniazzi F., Musso A., *"La localizzazione dei terminali per il trasporto combinato strada-ferrovia: un'applicazione dei modelli di facility location e di optimal location",* 7-8, Roma: Stab. Tipolit. Ugo Quintily SpA, 2010, Vols. luglio-agosto 2010.

[6] Dalla Chiara B., Pellicelli M., De Bonis L., *"The railway connections in the new Europe-Asia economic relationships / Le connessioni ferroviarie nelle nuove relazioni economiche Europa-Asia",* Ingegneria Ferroviaria, marzo 2012, Vol. LXVII, 3.

[7] Dalla Chiara B., *"Sistemi di trasporto intermodali: progettazione ed esercizio",* s.l.: EGAF, 2009.

[8] Parola F., Sciomachen A., *"Intermodal container flows in a port system network: analysis of possible growth via simulation models",* s.l.: Elsevier, 2004.

[9] Dalla Chiara B., Marigo D., Benzo G., *"Interporti e terminali intermodali",* s.l.: Hoepli, 2006.

[10] Fornasiero E., Libardo A., *"Economia di mercato e sostenibilità: un ruolo dei porti italiani / Market economy and sustainability: role of Italian ports",* Editrice CIFI, Vol. LXVI, Ingegneria Ferroviaria. 2011, 5.