

TRASPORTI PER I TRAPIANTI: stato dell'arte, problematiche e prospettive future.

Ing. Luca Mantecchini – DICAM - Università di Bologna

STATI GENERALI



RETE NAZIONALE
TRAPIANTI

6.7.8 NOVEMBRE

ROMA

Outline

- La collaborazione CNT - Università di Bologna
 - Costruzione d/b trasporti;
 - Linee guida;
- Dati su trasporti
 - Quote modali
 - Matrici origine-destinazione
 - Velocità e tempi medi per organo
 - Modello di ottimizzazione di rete a due hub
- Criticità
 - Aeroporti con limiti operativi
 - Batterie a ioni di litio
- Opzione trasporto reni su rete AV



STATI GENERALI
RETE NAZIONALE
TRAPIANTI

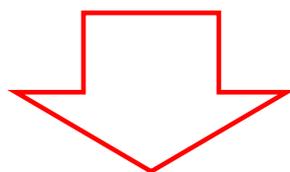
6 · 7 · 8 NOVEMBRE

ROMA

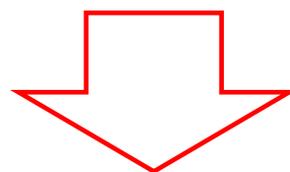
La collaborazione Unibo – CNT (1)

2014

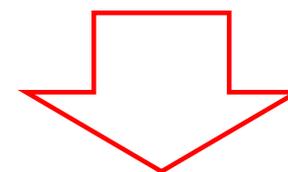
Prima convenzione per valutazione e analisi degli aspetti tecnici, operativi e gestionali del trasporto degli organi e delle equipe (con particolare riferimento al trasporto aereo)



Studio dello status
quo a livello
nazionale



Definizione di nuove linee
guida e allegato tecnico
validi a livello nazionale



Affiancare e
coadiuvare il CNT nel
monitoraggio tecnico
delle attività



STATI GENERALI
RETE NAZIONALE
TRAPIANTI

6 · 7 · 8 NOVEMBRE

ROMA

La collaborazione Unibo – CNT (2)

- EU Directive 2010/53/EU: Standards of quality and safety of organs intended for transplantation.
- EU Commission Regulation 2012/965/EU of 5 October 2012 laying down technical requirements and administrative procedures related to air operations pursuant to Regulation (EC) No 216/2008 of the European Parliament and of the Council.
- DL 179/2012 del 18/10/2012: Ulteriori misure urgenti per la crescita del Paese
- Conferenza Stato Regioni 21/12/2006: Documento per il coordinamento dei trasporti connessi con le attività trapiantologiche (e succ. modifiche)
- Accordo Stato-Regioni 25/03/2015
- Ministero della salute - decreto 19/11/2015
- CNT - interruzione attività voli di stato (aprile 2016) per trasporto pazienti
- Linee guida inerenti gli standard per il trasporto aereo in sicurezza di organi per trapianto e relativo allegato tecnico (rec. EU 2012/965)



linee guida e allegato tecnico, last update 2019

 Centro Nazionale Trapianti

“REQUISITI PER L’AFFIDAMENTO DEL SERVIZIO DI TRASPORTO AEREO DI ORGANI”

Al sensi dell’ Accordo Conferenza Stato Regioni del 25 marzo 2015 sul documento recante “Revisione e aggiornamento dell’accordo conferenza stato regione del 21 dicembre 2006 sul coordinamento dei trasporti connessi con le attività trapiantologiche”

Gennaio 2019



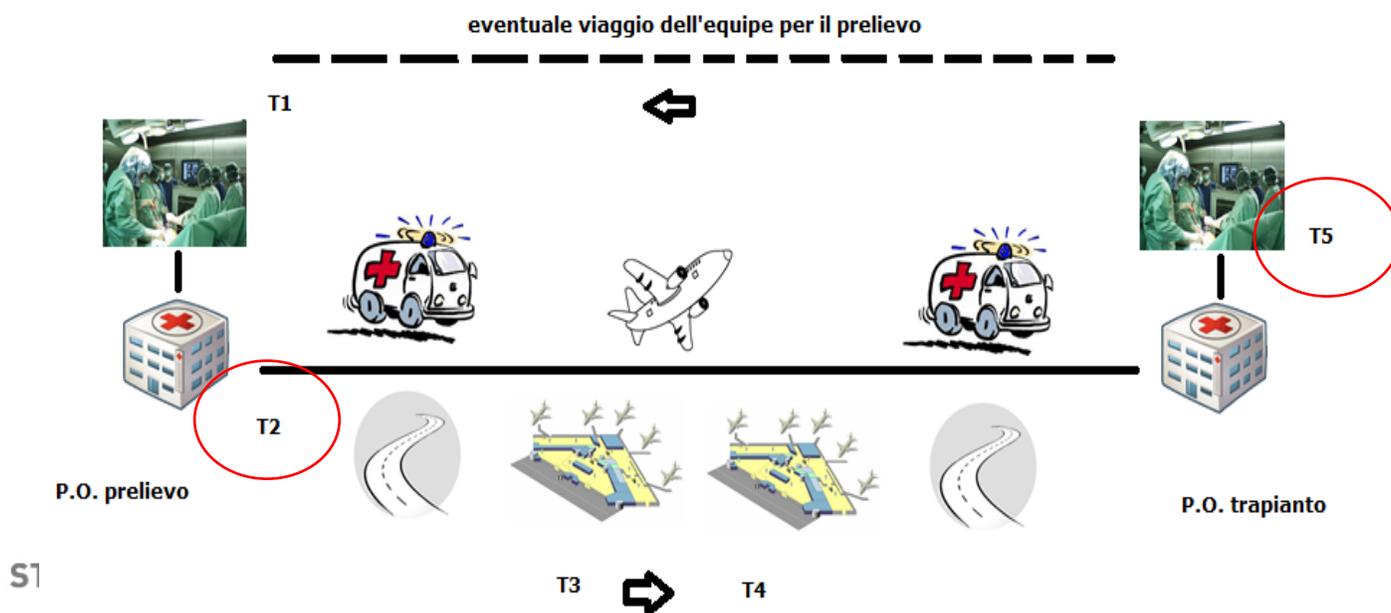
STATI GENERALI
RETE NAZIONALE
TRAPIANTI

6 · 7 · 8 NOVEMBRE

ROMA

La collaborazione Unibo – CNT (3)

Da giugno 2015 ogni evento di trasporto aereo degli organi viene classificato predisponendo appositi record di dati che si articolano in 3 campi, secondo il seguente schema:



$T4 - T3$ = durata volo

$T5 - T2$ = durata record

$(T3 - T2)$ e $(T5 - T4)$
spostamenti locali stradali da
p.o. prelievo a p.o. trapianto

S1



RETE NAZIONALE
TRAPIANTI

6.7.8 NOVEMBRE

ROMA

Qualche dato...

Dati complessivi per organo (da giugno 2015 a tutto il 2018), ripartito per mezzo (aereo/gomma)

- spostamenti interregionali;
- dati relativi a: cuore, fegato, polmone, rene.

Organo	ANNO	AEREO	ELICOTTERO	GOMMA	Totale	% GOMMA
CUORE	2015	53	1	14	68	20,59%
	2016	111	0	38	149	25,50%
	2017	105	3	28	136	20,59%
	2018	72	1	24	97	24,74%
FEGATO	2015	101	0	73	174	41,95%
	2016	202	4	163	369	44,17%
	2017	201	7	154	362	42,54%
	2018	188	0	173	361	47,92%
POLMONE	2015	44	0	19	63	30,16%
	2016	133	2	74	209	35,41%
	2017	132	2	54	188	28,72%
	2018	109	0	66	175	37,71%
RENE	2015	57	0	75	132	56,82%
	2016	167	0	174	341	51,03%
	2017	237	1	170	408	41,67%
	2018	210	2	139	351	39,60%
Totale per anno	2015	255	1	181	437	41,42%
	2016	613	6	449	1068	42,04%
	2017	675	13	406	1094	37,11%
	2018	470	3	336	809	41,53%
Totale generale	-	2013	23	1372	3408	40,26%

STATI GENERALI



RETE NAZIONALE
TRAPIANTI

6.7.8 NOVEMBRE

ROMA

Qualche dato...

	E M · R O M ·	P I E M O N T E	P U G L I A	T O S C A N A	E S T E R O	F V G	L I G U R I A	L O M B A R D I A	M A R C H E	V E N E T O	A B R - M O L	C A L A B R I A	C A M P A N I A	L A Z I O	S A R D E G N A	S I C I L I A	T o t a l e
AIRT - EM.ROM.		17	5	2		1		7				2	10	29	15	16	104
AIRT - PIEMONTE	6		7	6		1		3	3	7	1	1	7	30	2	45	119
AIRT - PUGLIA	10	19		5		2	7	33	1	16	2		7	35	3	76	216
AIRT - TAA														1		1	2
AIRT - TOSCANA		17	3		1	2		54		4			4	8	2	38	133
ESTERO	15	16				1	2	15		13			1	30		21	114
NITp - FVG		8	2	1	1							1	3	5	4	5	30
NITp - LIGURIA	1	1											1	11	3	8	25
NITp - LOMBARDIA	2	3	13	3	2						1		14	64	6	53	161
NITp - MARCHE		13		1						1			1	7		2	25
NITp - TRENTO		3												1	1	1	6
NITp - TAA														1			1
NITp - VENETO		8	3	2									9	29	2	23	76
OCST - ABR-MOL	6	11	1	1		3	1	10		13			4	2		23	75
OCST - BASILICATA				1		2	1	3	1	2				4		9	23
OCST - CALABRIA	5	4	1	1		2		10		10			6	34	2	26	101
OCST - CAMPANIA	17	25	5	12	1	4	5	52	1	31				2	1	97	253
OCST - LAZIO	25	42	5	4	1	10	12	85	1	58		1	1		2	56	303
OCST - SARDEGNA	33	37	1	14		5	4	42		36			4	12		29	217
OCST - SICILIA	9	8	5	8	2		8	35	1	23			7	29	1	1	137
OCST - UMBRIA	1	7	1			1		10		2			2			19	43
OCTS - CALABRIA	2								1	2				8		4	17
Totale complessivo	132	239	52	61	8	34	40	359	9	218	4	5	81	342	44	553	2181

Matrice Origine/destinazione
relativa agli **organi trasportati**
per via aerea nel periodo
06/'15-12/'18

CAMPANIA - SICILIA (97), LAZIO-
LOMBARDIA (85) e PUGLIA-
SICILIA (76) sono le tre coppie
o/d più frequenti

Qualche dato...

Velocità e tempi di trasporto organi



Organo	Aereo / Gomma	Velocità media in km/h			
		31/12/2015	31/12/2016	31/12/2017	31/12/2018
cuore	A/A	238,95	246,24	222,89	213,42
	G/G	91,33	69,90	66,82	68,92
fegato	A/A	231,04	229,30	219,45	206,26
	G/G	74,79	62,06	64,29	62,17
polmone	A/A	267,92	252,11	223,79	257,37
	G/G	74,79	67,07	72,68	69,21

Si rileva che:

- Le velocità medie nel periodo 2015-2018 sono leggermente diminuite (riduzione tratta aerea e/o maggiore incidenza first mile/last mile su gomma?)
- Le distanze medie su gomma per cuore, fegato e polmoni sono molto simili;
- Per i cuori le distanze su gomma sono più contenute;
- Variabilità contenute nelle velocità dei trasporti (coefficienti di variazione mediamente < 0,5)

Anno 2018

Organo	dist. media (km)		dist. max (km)		CV velocità	
	Aereo	Gomma	Aereo	Gomma	Aereo	Gomma
Cuore	582,42	208,38	1091	372	0,42	0,36
Fegato	621,77	244,69	1867	430	0,41	0,28
Polmone	622,91	221,09	1172	391	0,42	0,56

STATI GENERALI



RETE NAZIONALE
TRAPIANTI

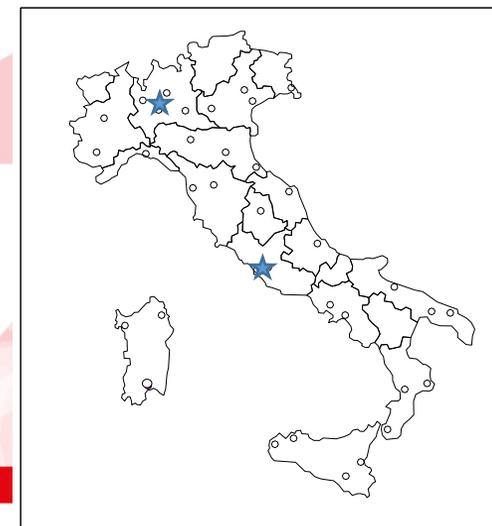
ROMA

Modello di rete a due hub (Ciampino – Linate)

- Obiettivo: minimizzare i km volati per posizionamento a/m e, allo stesso tempo, garantire tempi e modalità ottimali di servizio.
- Vincoli: a/m basati negli HUB; ogni richiesta è eseguita da un a/m; richieste contemporanee sono soddisfatte da a/m diversi.
- Il database mostra che eventi con elevato (>5) numero di contemporaneità sono rari per frequenza. Il 98% della domanda attesa è soddisfatta con la configurazione progettata.
- Risultato dell'ottimizzazione: 2 aerei basati a Linate e 4 aerei basati a Ciampino.

2-HUBS SCENARIO	CIA airport			LIN airport		
	TD [10 ³ km]	FD [10 ³ km]	NA	TD [10 ³ km]	FD [10 ³ km]	NA
1M	279.4	110.5	3	196.4	57.1	3
4M	278.1	109.4	4	193.3	53.9	2
12M	277.6	109.0	4	191.9	52.4	2

$$\begin{aligned} \min \alpha & \sum_{i \in A} \sum_{j \in H} y_{ij} + \sum_{r \in R} \sum_{j \in H_r} c_{rj} z_{rj} \\ \sum_{j \in H} y_{ij} & \leq 1 \quad \forall i \in A \\ \sum_{i \in A} x_{ri} & = 1 \quad \forall r \in R \\ x_{ri} + x_{r'i} & \leq 2 - y_{ij} \quad \forall i \in A, j \in H_r \cap H_{r'}, (r, r') \in L_j \\ x_{ri} & \leq \sum_{j \in H_r} y_{ij} \quad \forall i \in A, r \in R \\ z_{rj} & \geq x_{ri} + y_{ij} - 1 \quad \forall i \in A, r \in R, j \in H_r \\ y_{ij}, x_{ri}, z_{rj} & \in \{0, 1\} \quad \forall i \in A, r \in R, j \in H. \end{aligned}$$



RETE NAZIONALE
TRAPIANTI

6.7.8 NOVEMBRE

ROMA

Criticità – aeroporti con limiti operativi

AEROPORTO	EVENTI OK	EVENTI OUT	TOTALE
TRIESTE RONCHI DEI LEG.	23	7	30
ANCONA FALCONARA	4	8	12
PERUGIA	5	5	10
FOGGIA GINO LISA	8	0	8
RIMINI - SAN MARINO	3	5	8
REGGIO CALABRIA	5	2	7
SALERNO PONTECAGNANO	2	2	4
PARMA	1	2	3
SIENA AMPUGNANO	0	3	3
TARANTO GROTTAGLIE	0	0	0
TREVISO	0	0	0
COMISO	0	0	0
	51	34	85



Nel 2018 sono stati effettuati **85** movimenti in aeroporti con limitazioni (corrispondenti a circa 8% dei movimenti totali). Di questi, **34** fuori orario.

STATI GENERALI



RETE NAZIONALE
TRAPIANTI

6.7.8 NOVEMBRE

ROMA

Criticità – batterie a ioni di Litio

- Le batterie a ioni di litio (Li-ion) sono ampiamente diffuse per l'alimentazione di dispositivi elettronici (da laptop a cellulari, fino a dispositivi medici dai più semplici ai più complessi, come quelli per la perfusione degli organi);
- E' riconosciuto che tali batterie implicano un rischio di incendio: per questo motivo l'ICAO (international civil aviation organization) tratta il loro trasporto per via aerea come «merci pericolose»
- L'ENAC ha recepito queste indicazioni (Rif. ICAO Annex 18, Doc. 9284 Part 7;4.4, Part 7;4.5, Regolamento ENAC “Trasporto Aereo delle Merci Pericolose”)
- Nelle attuali condizioni è consentito, in linea generale, il trasporto in cabina di batterie che presentano un valore di capacità non superiore a 160 Wh
- ICAO prevede eccezioni per il trasporto di apparecchiature mediche destinate al supporto di pazienti imbarcati con approvazione dell'operatore (cit. Doc. 9284, 1.1.5 «general exceptions»)
- Nel 2019 (gennaio) si sono verificati due 2 casi di mancato trasporto aereo di strumentazioni alimentate con batterie a ioni litio
- ENAC ha preso in carico il problema e sono in corso aggiornamenti normativi, anche da parte di ICAO

Trasporto reni su treno AV



Possibilità trasporto RENI su rete AV

- Attualmente su gomma viaggiano tutte le tipologie di organo, accompagnati e non, entro una distanza compatibile con il tempo di ischemia
- **Obiettivo:** studiare la fattibilità di trasporti su ferro - Rete Alta Velocità - limitatamente ai RENI che hanno il maggiore tempo di ischemia e viaggiano non accompagnati
- La rete è costituita da nodi (P.O. di donazione e trapianto, stazioni AV), tratti di linee principali e secondarie AV con i relativi orari e distanze.
 - Linee est-ovest → Torino - Venezia (principale)
 - Linee nord - sud → tirrenica (principale) e adriatica (secondaria)
 - Diramazioni periferiche con Freccia Argento (Trento, Trieste, Bergamo, Genova, Reggio C.)

STATI GENERALI

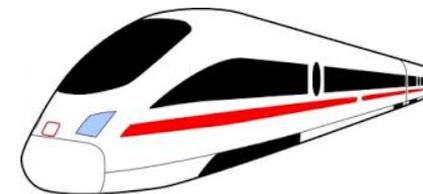


RETE NAZIONALE
TRAPIANTI

6.7.8 NOVEMBRE

ROMA

Trasporto reni su treno AV



METODOLOGIA:

- Si estraggono i record di interesse, scartando quelli da/per estero & isole
- Si calcola lo split modale attuale e si costruisce la trip chain originaria e di progetto
- TRENO → orari di transito e fermate – incrociati con gli orari di fine prelievo e di inizio trapianto – rendono possibile individuare l'esistenza di un collegamento e la sua frequenza.
- Vincoli: orari reali di fine prelievo e inizio trapianto, tempo di ischemia del rene (assunto pari a 18 ore), almeno 4 collegamenti/giorno/direzione per garantire disponibilità nelle principali fasce orarie giornaliere

RISULTATI:

- Veneto, Piemonte, Emilia-Romagna, Toscana sono coinvolte in quasi il 60% dei 464 record analizzati.
- Split modale BASE attuale (dati fino a 2017) = 317 GOMMA & 147 AEREO → 31.68% AEREO e 68.32% GOMMA
- Scenario simulato → 39 record restano su AEREO, 67 su GOMMA e **358 vengono assegnati all'alternativa TRENO**.
Split modale risultante = 8.41% AEREO, 14.44% GOMMA, **77.16% TRENO**
- Limiti: il divario di offerta Nord vs Sud e Tirreno vs Adriatico è al momento un ostacolo.

STATI GENERALI



RETE NAZIONALE
TRAPIANTI

6.7.8 NOVEMBRE

ROMA

Considerazioni conclusive e prospettive

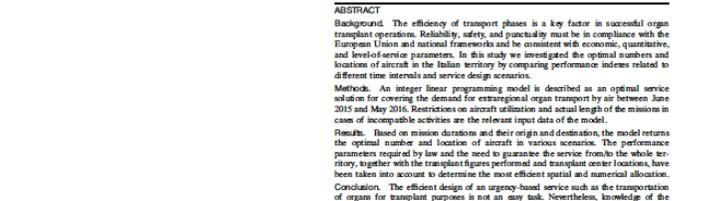
- Aggiornamento Database
- Aggiornamento linee guida sulla base del monitoraggio e di esigenze in divenire
- Analisi possibile trasferimento reni utilizzando rete ferroviaria ad alta velocità
- Ala rotante per trasferimenti interregionali
- Attività scientifica congiunta Unibo - CNT



Abstract
 The donation-transport network's complexity lies in the need to reconcile standardized processes and high levels of urgency and uncertainty due to organs' perishability and location. Both punctuality and reliability of air transportation services are crucial to assure the safe outcome of the transplant. To this scope, an Integer Linear Programming (ILP) model is here proposed to determine the optimal distribution of aircraft in a given set of hubs and under the demand extracted from the Italian transplant database. This is an application of uncapacitated facility location problems, where aircraft are facilities to be located and organ transportation requests represent the demand. Two scenarios (two hubs versus three hubs) are tested under the performance point of view and over different time periods to assess the influence of variations in demand patterns and time period length on the solution.
 Copyright © 2018 Elsevier Ltd. All rights reserved.
 Selection and peer-review under responsibility of the scientific committee of the EURO Mini Conference on "Advances in Freight Transportation and Logistics" (enac-ftl-2018).
Keywords: human organ, aircraft allocation, air transportation, transplantation, Integer Linear Programming.

1. Introduction
 The donation-transport network is a strategic asset of the Italian Healthcare system where many players interact in real time in a scenario led by urgency, unpredictability of time and location of organs, and reliability to be

2363-1463 Copyright © 2018 Elsevier Ltd. All rights reserved.
 Selection and peer-review under responsibility of the scientific committee of the EURO Mini Conference on "Advances in Freight Transportation and Logistics" (enac-ftl-2018).
 10.1016/j.trpro.2018.09.034



ABSTRACT
 The efficiency of transport phases is a key factor in successful organ transplant operations. Reliability, safety, and punctuality must be in compliance with the European Union and national frameworks and be consistent with economic, quantitative, and level-of-service parameters. In this study we investigated the optimal numbers and locations of aircraft in the Italian territory by comparing performance indexes related to different time intervals and service design scenarios.
Methods. An Integer Linear Programming model is described as an optimal service solution for covering the demand for extragenital organ transport by air between June 2015 and May 2016. Restrictions on aircraft utilization and actual length of the missions in cases of incompatible activities are the relevant input data of the model.
Results. Based on mission database and their origin and destinations, the model returns the optimal number and location of aircraft in various scenarios. The performance parameters required by law and the need to guarantee the service from/to the whole territory, together with the transplant figures performed and transplant center locations, have been taken into account to determine the most efficient spatial and numerical allocation.
Conclusion. The efficient design of an urgency-based service such as the transportation of organs for transplant purposes is not an easy task. Nevertheless, knowledge of the logistic chain and continuous monitoring and update of data and performance parameters can allow for collection of useful information to guarantee a high-performing service.

THE COMPLEXITY of the donation-transport logistic chain lies in the combination of standardized processes, high levels of urgency, uncertainty and highest degree of efficiency to be pursued. In this study we firstly summarize transplantation in the Italian and international context. Our focus is on extragenital transport activities of organs performed by air, as air transport is usually the quickest option for transfer of organs (unaccompanied or not) by the medical team from the donor center (DC) to the transplant center (TC) in compliance with restrictions on cold ischemia time (CTI) associated with the specific organ (from 5 hours for heart up to 36 hours for kidney). The definition of CTI and its relationship with transplant outcome and follow-up for each organ have been investigated [1-4] as has the amount of CTI spent during the transport phases of the various organs involved and the transport options chosen.

We also provide a short review of the application of operative research methods to healthcare facility location problems (HEFLP) followed by an Integer Linear Programming (ILP) model [5] to solve the problem of determining the optimal number and location of aircraft in a given set of hubs under a series of hypotheses and constraints.
 Finally, we compare the performance indexes relative to 2 different scenarios (2 hubs vs 3 hubs) tested by varying time period analyzed to assess the influence of variation in demand pattern on the number of aircraft allocated to each hub.

0041-345/17
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.02.033>

0041-345/18
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.09.034>

THE DONATION TRANSPLANTATION network is a complex system of activities whose standardization is tempered by many variables. Among those are the innovative techniques from the technological point of view which have reduced damages to organs from obtaining them to transplantation [1] and the cold ischemia time (CTI) [2] which, as scientific literature agrees, affects inversely the chance of a successful transplantation [3-4]. Dehout et al [5] studied the effect of CTI in 2029 adult recipients of a first heart-beating deceased-donor kidney transplanted between 2003 and 2011. Their data provide solid evidence that once a short lengthening of CTI may worsen the outcome of renal transplantation. The risk of graft failure was small when CTI was shorter than 16 hours (1.4% at 1 year and 20% at 10 years for CTI less than 16 hours, versus 5 years and 53%, respectively, for CTI between 16 hours and 36 hours. Despite these small variations, the differences were statistically significant. The risk of graft



STATI GENERALI
 RETE NAZIONALE TRAPIANTI

6-7-8 NOVEMBRE

ROMA