

# La progettazione ambientale come risposta ai cambiamenti climatici

Roma, 11 Ottobre 2019

## *Come incidono i cambiamenti climatici sul progetto stradale*

*Maria Rosaria De Blasiis*

*Alcuni parametri ambientali costituiscono gli input le scelte progettuali*

TEMPERATURE – PRECIPITAZIONI – NUVOLOSITÀ – RESILIENZA DEGLI ECOSISTEMI



AUMENTO DELLA VULNERABILITÀ CITTÀ,  
INDUSTRIE, INFRASTRUTTURE

INPUT

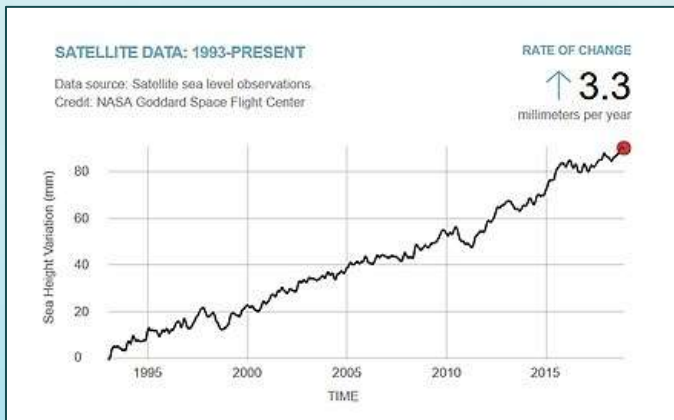
DIMENSIONAMENTO

GESTIONE



## INNALZAMENTO DEL LIVELLO MEDIO DEL MARE

### REGISTRAZIONI STORICHE



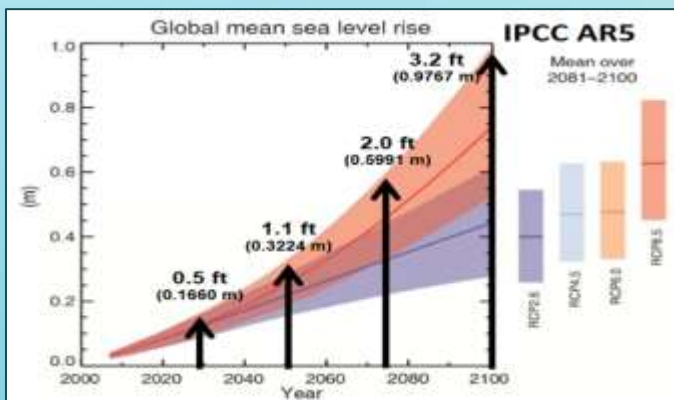
1900 - 2016

16 - 21 cm  
NON UNIFORME

1993 - 2018

ACCELERAZIONE 30  
CM/SECOLO

### PREVISIONI FUTURE



STIME ENTRO IL 2100

IPCC

(2007) 60 cm

(2014) 90 cm

NASA

## DESERTIFICAZIONE E DEGRADO DEI SUOLI

1981 - 2006

23,5%

SUPERFICI DEGRADATE

2006 - 2018

30,7%

STIME GENERALI

ACCELERAZIONE ESPONENZIALE DEL  
FENOMENO

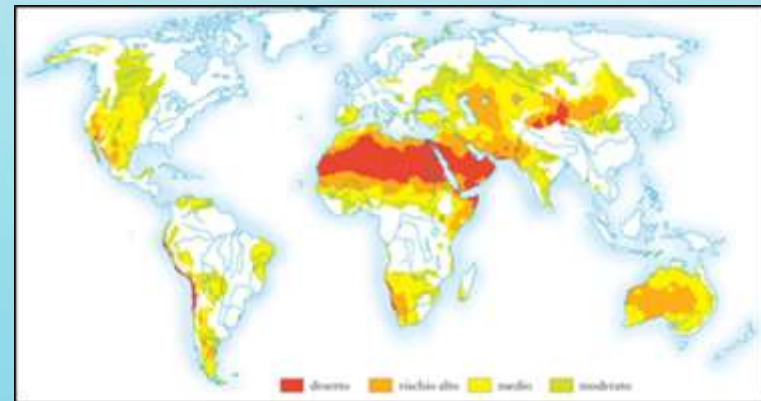
FATTORI ANTROPICI E BIOFISICI

USO DEL SUOLO



Region	Total land area (M ha)	Total degraded area (M ha)	Total degraded area (%)	Water erosion (M ha)	Wind erosion (M ha)	Physical degradation (M ha)	Chemical degradation (M ha)
Africa	2,964	494	17	227	186	19	62
Asia	3,085	749	24	441	222	12	74
South America	1,753	243	14	123	42	8	70
Central America	108	63	58	46	5	5	7
North America	2,029	96	5	60	35	1	—
Europe	2,260	218	10	114	42	36	26
Oceania	849	102	12	83	16	2	1
World	13,048	1,965	15	1,094	548	83	240

REGISTRAZIONI STORICHE



PREVISIONI  
FUTURE

# CONSIDERAZIONI E STRATEGIE DI ADATTAMENTO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO

RISCHIO

EFFETTO

OBIETTIVO

AUMENTO EVENTI DI  
CALAMITÀ NATURALE

AUMENTA LA VULNERABILITÀ DELLE  
INFRASTRUTTURE STRATEGICHE

MISURE DI ADATTAMENTO

AUMENTO RESILIENZA  
INFRASTRUTTURE



(2013) – Unione Europea: «*STRATEGIA DELL'UE PER L'ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI*»

(2014) – Agenzia Europea dell'Ambiente: «*ADATTAMENTO DEI TRASPORTI AI CAMBIAMENTI CLIMATICI*»

PROBLEMATICHE

REALIZZARE PROIEZIONI E  
MODELLI PRECISI

INTEGRARE INDICATORI  
BIOFISICI E SOCIOECONOMICI

INQUADRARE ZONE A RISCHIO

**RUOLO STRATEGICO  
INFRASTRUTTURE DI  
TRASPORTO**

MOBILITÀ E SVILUPPO

SERVIZI ALLA  
POPOLAZIONE

GESTIONE  
EMERGENZE

POSSIBILI SOLUZIONI

PIANIFICAZIONE TERRITORIALE  
LOCALE

GESTIONE INTEGRATA ZONE  
COSTIERE (ICZM)

ADOZIONE TECNOLOGIE  
PROTEZIONE INFRASTRUTTURE  
STRATEGICHE

# Cambiamenti climatici



## JOURNAL ARTICLE

### A CASE AGAINST PRECIPITOUS CLIMATE ACTION

Richard S. Lindzen

*Energy & Environment*

Vol. 22, No. 6 (2011), pp. 747-751

Published by: [Sage Publications, Ltd.](http://www.sagepublications.com)

<https://www.jstor.org/stable/43735042>

temperature anomaly of a few tenths of a degree will astound future generations. Such hysteria simply represents the scientific illiteracy of much of the public, the susceptibility of the public to the substitution of repetition for truth, and the exploitation of these weaknesses by politicians, environmental promoters, and, after 20 years of media drum beating, many others as well.

Climate is always changing. We have had ice ages and warmer periods when alligators were found in Spitzbergen. Ice ages have occurred in a hundred thousand year cycle for the last 700 thousand years, and there have been previous periods that appear to have been warmer than the present despite CO2 levels being lower than they are now. More recently, we have had the medieval warm period and the little ice age. During the latter, alpine glaciers advanced to the chagrin of overrun villages. Since the beginning of the 19th Century these glaciers have been retreating. Frankly, we don't fully understand either the advance or the retreat.

For small changes in climate associated with tenths of a degree, there is no need for any external cause. The earth is never exactly in equilibrium. The motions of the massive oceans where heat is



# Gli effetti climatici sulle infrastrutture



Table 1. Climate changes and their impacts on airport.

Climate variables	Climate changes		Impacts on airport
	Trends	Extreme events	
Temperature <sup>a</sup>	Increasing mean temperatures (as for minimum and maximum daily temperatures)		A light increase of mean temperatures has no remarkable impact on airport usability. Some profit might be noticed (less deicing for example) but the change would not be benefic enough to the accessibility of the platform to be taken into account in the climate change scenario.
		Increasing number of days of heat waves.	Heat waves are important since they can cause : <ul style="list-style-type: none"> <li>• fires which may induce traffic interruptions</li> <li>• damages to paved infrastructures</li> <li>• deterioration of engine performance and lift capabilities (delays or cancellations)</li> <li>• deterioration of staff work performance</li> <li>• need for additional energy consumption during heat wave periods because of air conditioning</li> </ul>
		Increasing number of days of drought.	Droughts worsen clay swelling and shrinkage issues which can adversely affect the integrity of buildings and paved infrastructures. For this reason, the associated climate change is retained.
Precipitation <sup>a</sup>	Decreasing number of days with snow		Yet associated with a broader trend, the importance of snowfalls requires taking it into account platform vulnerable to snowfalls must be aware of the risk even if it is expected to decrease in the years to come (platform might remain very sensitive to snow hazards).
	Decreasing number of days with rain		The light variation of the number of rainy days (comprised between +2 and -4 days per year according to A2 and B2) is not expected to have an important impact on airport accessibility (as opposed to strong rain episodes). For this reason, the trend is not retained in the climate

Table 1. Climate changes and their impacts on airport.

Climate variables	Climate changes		Impacts on airport
	Trends	Extreme events	
Temperature <sup>a</sup>	Increasing mean temperatures (as for minimum and maximum daily temperatures)		A light increase of mean temperatures has no remarkable impact on airport usability. Some profit might be noticed (less deicing for example) but the change would not be benefic enough to the accessibility of the platform to be taken into account in the climate change scenario.
		Increasing number of days of heat waves.	Heat waves are important since they can cause : <ul style="list-style-type: none"> <li>• fires which may induce traffic interruptions</li> <li>• damages to paved infrastructures</li> <li>• deterioration of engine performance and lift capabilities (delays</li> </ul>

## *L'Analisi di Rischio per la progettazione di infrastrutture*

- *Identificazione dei rilevanti cambiamenti climatici (attesi in un certo intervallo temporale) e i loro potenziali effetti sulle infrastrutture;*
- *Proposta di una metodologia per valutare la vulnerabilità di tali infrastrutture ai previsti eventi estremi relativi ai cambiamenti climatici*

*Applicazioni dell'analisi di rischio per definire adeguate scelte progettuali*



## *Stima della vulnerabilità*

- *La robustezza è la capacità di un sistema di funzionare in una situazione degradata a fronte di un determinato rischio climatico, che produce malfunzionamenti.*
- *La resilienza è la capacità di un sistema di ripristinare completamente o parzialmente la sua funzionalità a seguito del verificarsi di un evento estremo.*
- *Criticità fisica, la criticità del singolo elemento del sistema*
- *Criticità funzionale, la criticità del sistema*

## *Stima della vulnerabilità*

- *Vulnerabilità fisica, intesa come la vulnerabilità del singolo elemento del sistema*
- *Vulnerabilità funzionale, intesa come la vulnerabilità del sistema*

*La vulnerabilità di un'infrastruttura può essere distinta in :*

- *livello microscopico: la vulnerabilità fisica dei suoi componenti; dipende dalle loro caratteristiche fisiche, la loro resistenza, dal loro comportamento, ...ecc.;*
- *livello macroscopico: la vulnerabilità della rete infrastrutturale che dipende dalle sue caratteristiche funzionali, la sua capacità, dalla presenza di interconnessioni,.*

## *Fattori di vulnerabilità fisica per una rete infrastrutturale*

- *l'età dell'infrastruttura, da pochi anni a oltre 100 anni;*
- *la vita utile programmata e le condizioni del sistema relative a tale durata;*
- *le regole di progettazione: assenti, obsolete o aggiornate;*
- *i materiali utilizzati;*
- *le procedure di ispezione e manutenzione esistenti, che vanno da nessuna azione a ispezioni dettagliate e sistematiche dopo ogni evento eccezionale;*
- *feedback sul comportamento della rete a fronte dei rischi climatici;*
- *la quota sul livello del mare o la vicinanza ad un corso d'acqua dell'infrastruttura;*
- *....ecc.*

## *Fattori di vulnerabilità funzioanle di una rete infrastrutturale*

- *connettività: la rete consente un'unica relazione fra due poli?*
- *qualità del servizio: in quali condizioni di velocità, comfort, sicurezza, affidabilità, ecc. la rete consente lo spostamento?*
- *capacità: quanti utenti può soddisfare contemporaneamente la rete?*  
*Le nozioni di qualità del servizio e capacità sono strettamente collegate. Se vogliamo trasportare più persone o merci contemporaneamente nello stesso posto, una qualità inferiore comporterebbe sprechi di tempo, minore affidabilità, congestione, code, ecc.;*
- *costi: una rete di trasporto comporta costi di costruzione, manutenzione e gestione che si riflettono nei costi degli utenti o nel contributo dei contribuenti.*

## *Elementi di criticità funzionale*

- *funzioni di trasporto essenziali: questa categoria comprende movimenti che devono essere possibili in ogni momento e a tutti i costi, soprattutto se si verifica un evento meteorologico estremo*
- *funzioni di servizio o di accessibilità: questa categoria comprende i movimenti che coinvolgono servizi essenziali come l'accesso al cibo, servizi sanitari, ecc;*
- *regolari funzioni di viaggio: questa categoria comprende tutti i movimenti di persone e merci che contribuiscono al funzionamento della società e, in particolare, dell'economia*



## Rischio climatico

- ***Intensità:** esprime la quantificazione di un evento. Può essere misurato o stimato. Solitamente, vengono utilizzate le soglie delle classi di fenomeni meteorologici: pioggia, gelo, neve, vento, caldo, ecc .;*
- ***Evento spaziale:** predisposizione ed estensione. L'occorrenza spaziale è condizionata da fattori di predisposizione o suscettibilità, ad esempio geologico. L'estensione spaziale di un rischio climatico può essere altamente variabile,*
- ***Evento temporale:** istantaneo e durata. L'occorrenza temporale può essere stimata qualitativamente (trascurabile, bassa, alta) o quantitativamente, mediante intervalli di ricorrenza (dal decennale al centenario, per esempio). Anche la durata del fenomeno deve essere presa in considerazione. La durata può variare tra ore, giorni, settimane o mesi*

## *Analisi di vulnerabilità*

- *Partendo dall'analisi della criticità fisica, che consiste nel combinare i guasti dei singoli elementi, si giunge all'analisi della criticità funzionale della rete.*
- *Iniziare con un'analisi della criticità funzionale e poi condurre un'analisi di criticità fisica dei singoli sistemi identificati come critici dal punto di vista funzionale*

# Analisi di Rischio

- *Caratterizzazione dei rischi climatici;*
  - *Caratterizzazione della vulnerabilità fisica della rete infrastrutturale esposta ai rischi climatici;*
  - *Caratterizzazione delle performance della rete in eventi che portino a degradi o addirittura “fuori servizio” di uno dei singoli componenti.*
- └─▶ *Valutazione del rischio effettivo*

## *Un'applicazione ...*

*L'analisi della vulnerabilità della rete stradale va intesa come verifica della continuità di servizio nelle ore successive all'evento estremo (soccorso)...*

*....e nei giorni che seguono per il ripristino delle funzioni civili dell'area coinvolta (ricostruzione)*

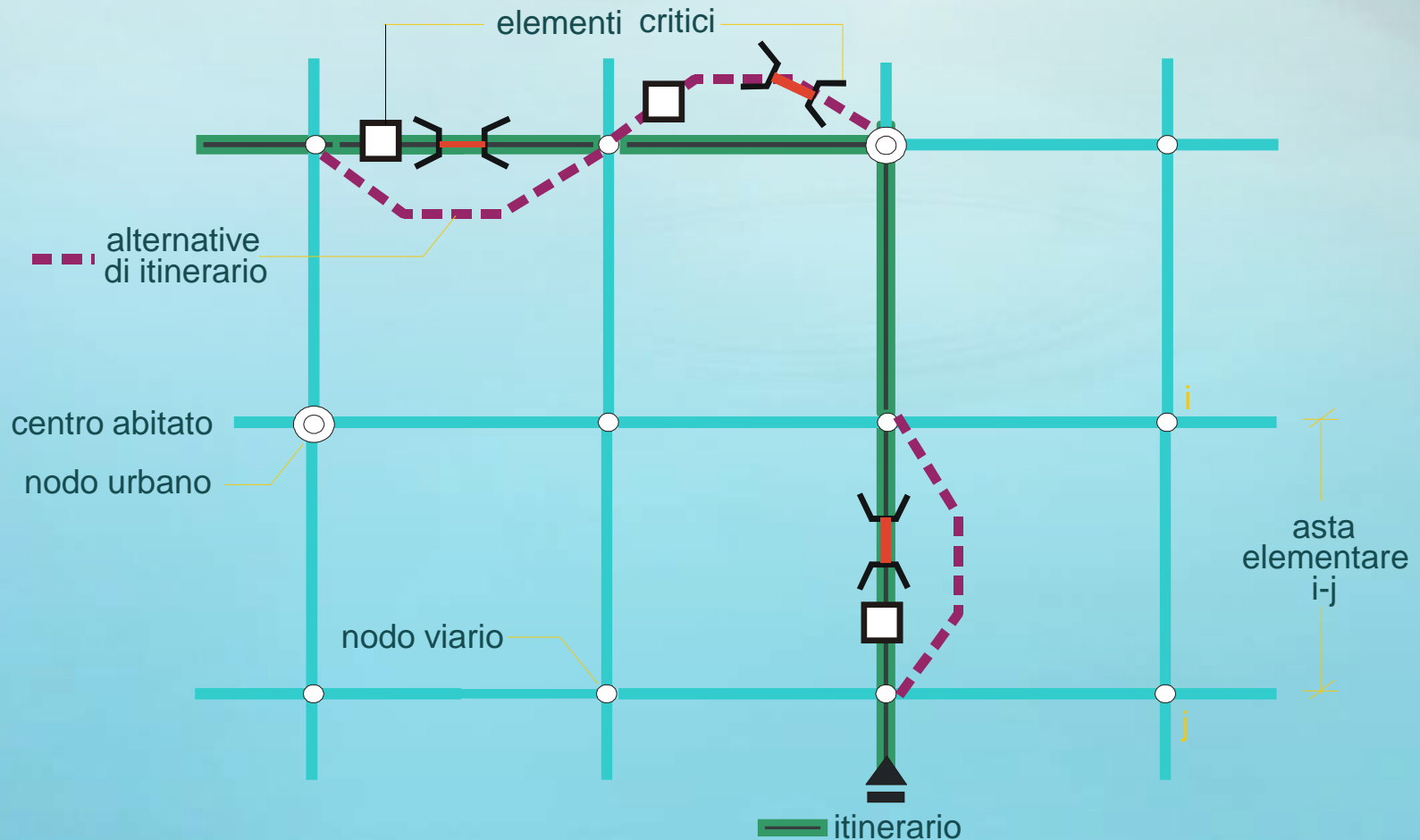
*La possibilità di transito su una particolare direttrice è assicurata se sono presenti percorsi alternativi praticabili per le esigenze del “soccorso”*

*Il tema va affrontato verificando nell'ordine*



## Un'applicazione ...

*La disponibilità del sistema infrastrutturale  
ad una percorrenza stabilita, anche alternativa*





# *Un'applicazione ...*

*Valutazione degli effetti sulle aste della rete...*



*EFFETTI  
DIRETTI*



*EFFETTI  
INDOTTI*



*...per una verifica di praticabilità  
dell'itinerario*

## *Un'applicazione ...*



## Stima della vulnerabilità per ogni elemento critico ...

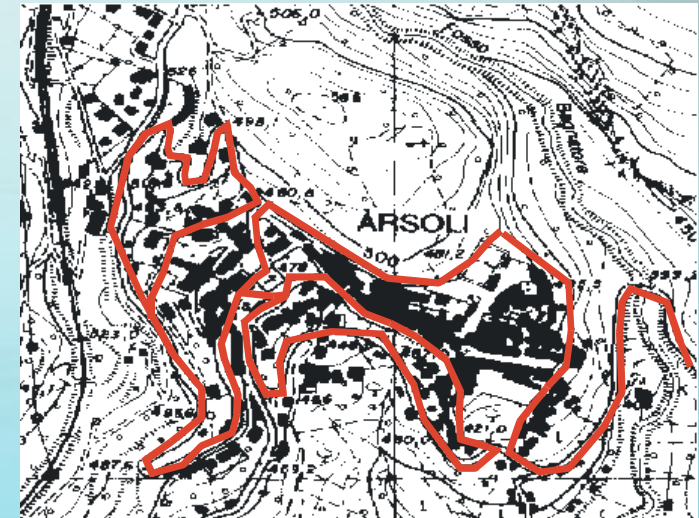
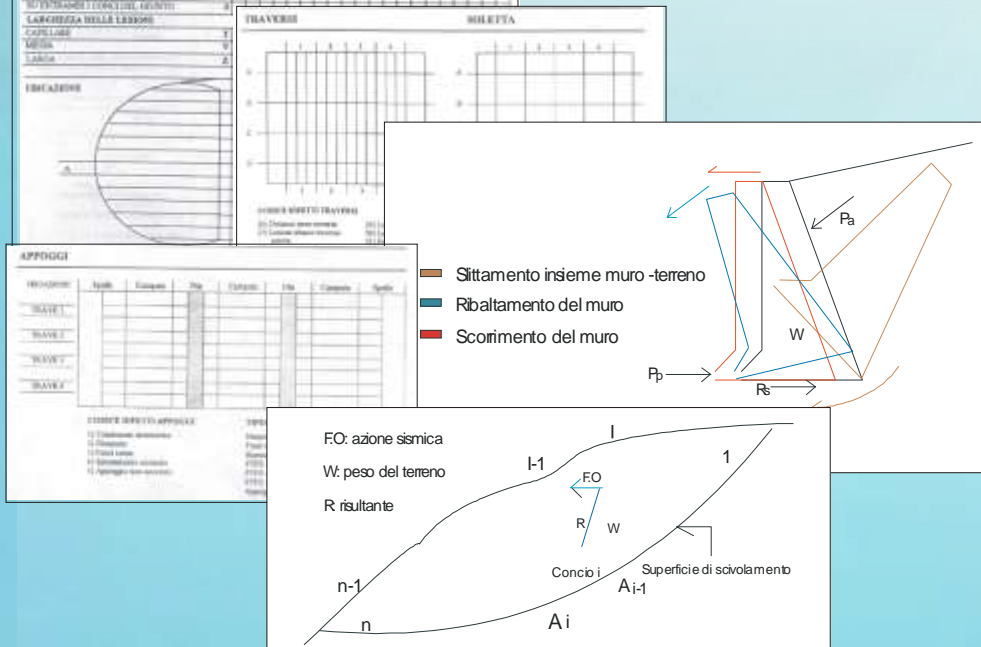
## Un'applicazione ...

Schema difetti galleria:  
Lesioni

TIPOLOGIA	
LESIONE SING. INCLIN. VERTICALE	P
LESIONE SING. INCLIN. VERTICALE	Q
LESIONE SING. INCLIN. VERTICALE	R
LESIONE SING. INCLIN. VERTICALE	S
LESIONE SING. INCLIN. VERTICALE	T
LESIONE SING. INCLIN. VERTICALE	U
LESIONE SING. INCLIN. VERTICALE	V
LESIONE SING. INCLIN. VERTICALE	W
LESIONE SING. INCLIN. VERTICALE	X
LESIONE SING. INCLIN. VERTICALE	Y
LESIONE SING. INCLIN. VERTICALE	Z

sia per le analisi  
delle cause interne

sia per le analisi  
delle cause esterne



*Un'analisi di questo tipo è possibile solo quando è limitato il numero di elementi critici da analizzare, ciò non risulta possibile nel caso in cui si volesse caratterizzare l'affidabilità di una rete stradale di rilevanti dimensioni.*

22

Asta di rete numero _____		Tipologia viaria <input type="checkbox"/> comunale <input type="checkbox"/> provinciale <input type="checkbox"/> statale <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> recordo autostradale <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> autostrada <input type="checkbox"/>	
Dal nodo _____ Al nodo _____		Anno di costruzione _____ Ultimo intervento strutturale _____	
Sviluppo dell'asta viaria Km _____		Senso di marcia Singolo <input type="checkbox"/> Doppio <input type="checkbox"/> Se di accesso Carreggiate separate verso il centro sì <input type="checkbox"/> verso l'esterno no <input type="checkbox"/>	
Rapporto H/L medio _____ max _____		Sviluppo sezione m _____ Numero di corsie per carreggiata _____ Numero di corsie totali _____ Presenza di banchine sì <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	
Percorso soggetto a frane <input type="checkbox"/>		Percorso soggetto a rischi idraulici <input type="checkbox"/>	
		Interferenze viarie Incrocio, biforcazione a raso <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
		non a raso <input type="checkbox"/>	
Attraversamenti urbani <input type="checkbox"/>			
Dalla progressiva _____		Alla progressiva _____ Sezione minima m _____ Sviluppo edificato in aderenza m _____	
Percorso a livello <input type="checkbox"/>			
Dalla progressiva _____		Alla progressiva _____	
Percorso in rilevato o trincea senza opere di sostegno <input type="checkbox"/>			
Dalla progressiva _____		Alla progressiva _____	
Altezza del piano stradale dal piano campagna m (+ rilevato, - trincea) _____			
Larghezza del piano stradale m _____			
Pendenza del terreno grad _____			

Percorso in rilevato o trincea con opere di sostegno <input type="checkbox"/> Dalla progressiva _____ Alla progressiva _____	
Altezza del piano stradale dal piano campagna m (+ rilevato, - trincea) _____	
Tipologia: <input type="checkbox"/> Sottoscarpa <input type="checkbox"/> Controripa <input type="checkbox"/> Altro <input type="checkbox"/>	
Tipologia strutturale: <input type="checkbox"/> a gravità <input type="checkbox"/> a mensola <input type="checkbox"/>	
Fondazioni: <input type="checkbox"/> dirette <input type="checkbox"/> su pali <input type="checkbox"/>	
Tiranti: <input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	
Materiale: <input type="checkbox"/> pietrame non squadrato <input type="checkbox"/> pietrame squadrato <input type="checkbox"/> muratura di mattoni <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> cemento armato <input type="checkbox"/> altro <input type="checkbox"/>
Inclinazione del terreno sostenuto grad _____	
Stato di degrado <input type="checkbox"/> basso <input type="checkbox"/> medio <input type="checkbox"/> elevato <input type="checkbox"/>	
Percorso in galleria Dalla progressiva _____ Alla progressiva _____	
Galleria: <input type="checkbox"/> naturale <input type="checkbox"/> artificiale <input type="checkbox"/>	Tipo di sezione: <input type="checkbox"/> ad arco <input type="checkbox"/> rettangolare <input type="checkbox"/>
Materiale: <input type="checkbox"/> c.a./c.a.p. <input type="checkbox"/> muratura <input type="checkbox"/>	Stato di degrado <input type="checkbox"/> basso <input type="checkbox"/> medio <input type="checkbox"/> elevato <input type="checkbox"/>
Percorso su ponte o viadotto Dalla progressiva _____ Alla progressiva _____	
Numero delle campate _____	
Luci campate (in sequenza) _____	
Schema pile in sequenza _____	
Materiale appoggiate: <input type="checkbox"/> c.a. <input type="checkbox"/> c.a.p. <input type="checkbox"/> acciaio <input type="checkbox"/> acciaio, cl.s. <input type="checkbox"/> altro <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> telaio <input type="checkbox"/> ponte ad arco <input type="checkbox"/> sospeso <input type="checkbox"/>
Materiale pile: <input type="checkbox"/> c.a. <input type="checkbox"/> c.a.p. <input type="checkbox"/> acciaio <input type="checkbox"/> muratura <input type="checkbox"/> altro <input type="checkbox"/>	
Tipologia costruttiva impalcato: <input type="checkbox"/> prefabbricato <input type="checkbox"/> realizzato in opera <input type="checkbox"/>	
Tipologia costruttiva pile: <input type="checkbox"/> prefabbricato <input type="checkbox"/> realizzato in opera <input type="checkbox"/>	
Tipo di appoggio: <input type="checkbox"/> acciaio <input type="checkbox"/> gomma <input type="checkbox"/> piombo <input type="checkbox"/> appoggio diretto <input type="checkbox"/> non presenti <input type="checkbox"/>	
Presenza di negri sismici longitudinali e/o trasversali <input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	
Presenza di dispositivi antisismici longitudinali e/o trasversali <input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	
Stato di degrado <input type="checkbox"/> basso <input type="checkbox"/> medio <input type="checkbox"/> elevato <input type="checkbox"/>	

An aerial photograph of a coastal area. A region in the center is highlighted with a red and blue overlay, possibly indicating a specific land use or boundary. The surrounding area is green, likely representing vegetation or water.



DATI ARITMATICI										DATI PER ANNI DI COSTITUZIONE (%)																													
COMUNE	Municipio Abituazione	Numero Popolazione nel censimento 1971			Numero Popolazione nel censimento 1981			Aumento Popolazione dal 1971 al 1981			Numero di anni in %			Percentuale per anni di costituzione (%)																									
		totale	maschi	femmine	totale	maschi	femmine	totale	maschi	femmine	0-14	15-24	25-34	35-44	45-54	55-64	65-74	75-84	85-94	95-100																			
Provincia di L'Aquila																				Provincia di ABRUZZO																			
SANTE MARIE		1331	59	39	1	1	8	86	5	0	72	99	99	1	0	0	0	389	54	7	1	3	10	13	4	11	15	8	1	0									
SANTO STEFANO DI SENSANO		270	94	0	0	0	0	2	17	1	39	49	56	9	0	14	0	249	93	4	12	0	0	0	0	1	0	0	0	0									
SCANDOLI		6085	19	9	0	0	0	0	0	0	16	62	22	1	0	0	0	43	52	14	42	0	0	0	0	12	20	0	0	0									
SCINTORINE		296	87	6	0	7	0	1	0	1	20	55	73	3	1	0	6	1	23	1	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
SCICOPOLI		1024	28	9	0	2	0	0	0	0	14	53	72	9	2	1	0	0	425	37	1	2	10	2	4	15	7	11	14	16	1	29							
SEURCOLA MARCIANA		62	102	16	0	2	10	36	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	72	43	16	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
SEURCOLA		5	15	4	0	1	1	7	2	0	0	49	14	8	1	0	0	0	440	6	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
SALMONA		1048	37	42	0	32	3	0	0	4	4	49	48	17	18	14	0	0	4924	32	12	14	14	58	17	10	72	42	72	1	65								
TRILACCIUZZO		1529	54	32	9	3	36	41	9	7	7	82	30	1	0	0	1	0	1024	22	12	4	42	11	19	19	12	43	11	0	0								
TIGONE SAN LUCA ABRUZZI		441	17	3	0	2	0	0	0	0	1	14	72	3	0	0	0	0	384	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
TORNIMPARTE		1145	72	3	0	2	0	0	20	0	0	0	34	9	0	0	0	0	8	10	15	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
TRASANO		1823	85	9	0	27	42	1	0	0	5	55	46	9	1	0	0	0	145	22	15	26	23	12	14	35	92	20	11	54	1	67							
VILLA TANTI-MARCOLO		278	85	3	0	4	0	0	0	0	3	45	52	9	0	0	0	0	38	19	43	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
VILLA SANTA LUCIA MOLTI ABRUZZI		250	10	0	1	1	1	1	1	1	1	53	34	9	0	0	0	0	344	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
VILLALANO		590	9	0	0	0	15	92	4	16	70	14	92	1	1	1	0	0	480	42	33	7	29	11															



..individuare indicatori aggregati...

Un'applicazione ...

Cause che determinano limitazioni di transitabilità della strada per effetto interno	Elementi critici	Parametri di vulnerabilità propria	Classe di vulnerabilità		
			Basso	Medio	Alto
<b>A</b> Cedimenti strutturali delle opere d'arte	<b>A1</b> viadotti	tipologia strutturale	struttura scatolare, telai		
		se verificato sismicamente	trave continua, struttura ad arco		
		lunghezza dell'opera	se il territorio è classificato sismico all'epoca della costruzione del ponte		
		altezza massima delle pile	L<=50m	50m<L<300m	L>=300m
		tipo di materiale	h<=25m	25m<h<50m	h>=50m
	<b>A2</b> galleria profonda	stato di degrado	c.a.p., c.a.	acciaio, acciaio-clis	muratura
		presenza di faglie	basso	medio	elevato
		numero di canne	assenti	presenti	
	<b>A3</b> galleria superficiale naturale	stato di degrado	autostrade, raccordi autostr. e strade a due canne	autostrade, raccordi autostradali e strade statali a singola canna	stade locali, strade comunali e stade provinciali a singola canna
		stato di degrado	basso	medio	elevato
	<b>A3<sub>2</sub></b> galleria superficiale artificiale	tipologia strutturale	sezione ad arco	sezione rettangolare	
		numero di canne	autostrade, raccordi autostr. e strade a due canne	autostrade, raccordi autostradali e strade statali a singola canna	stade locali, strade comunali e stade provinciali a singola canna
		stato di degrado	basso	medio	elevato
	<b>A4</b> opere di sostegno e opere minori	Tipologia di fondazione	fondazioni dirette		fondazioni profonde
		altezza dell'opera	h<=3m	3m<h<6m	h>=6m
		acclività del terreno sostenuto	in funzione della litologia		
		stato di degrado	basso	medio	elevato
<b>B</b> Cedimenti e/o deformazioni del corpo stradale	<b>B1</b> rilevato	tipo di materiale	c.a.	muratura di mattoni, pietrame squadato,	pietrame non squadato, altro...
		acclività del sedime	i<=15%	15%<i<30%	i>=30%
		altezza del piano stradale dal p.c.	h<=3m	3m<h<8m	h>=8m
		natura dei sedimenti	stabile	mediamente stabile	instabile
	<b>B2</b> trincea	larghezza del piano stradale	due carreggiate	unica carreggiata	
		pendenza dei terreni d'impianto	i<=15%	15%<i<30%	i>=30%
		altezza del piano stradale dal p.c.	h<=3m	3m<h<8m	h>=8m
		natura dei sedimenti	stabile	mediamente stabile	instabile
<b>C</b> Difetti di sovrastrutture	<b>C1</b> pavimentazioni	larghezza del piano stradale	due carreggiate	unica carreggiata	
		stato di degrado	basso	medio	elevato
Cause che determinano limitazioni di transitabilità della strada per effetto esterno	<b>D1</b> Materiale terroso franato sulla strada	acclività	i<=15%	15%<i<30%	i>=30%
		idraulica di superficie	modesta	elevata con regimi idraulici regolari	elevata con regimi idraulici torrentizi
		natura dei terreni	stabile	mediamente stabile	instabile
		stabilità superficiale	terreno non soggetto a frane	terreno soggetto a frane	
	<b>D2</b> Esondazioni o mancati deflussi delle opere idriche	copertura vegetazionale	senza copertura	con copertura	con copertura forte
		acclività	i<=15%	15%<i<30%	i>=30%
		idraulica di superficie	modesta	elevata con regimi idraulici regolari	elevata con regimi idraulici torrentizi
	<b>D3</b> Macerie provenienti dal crollo di edifici	copertura vegetazionale	senza copertura	con copertura	con copertura forte
		edificato	assente	presente	
		altre infrastrutture	assente	presente	

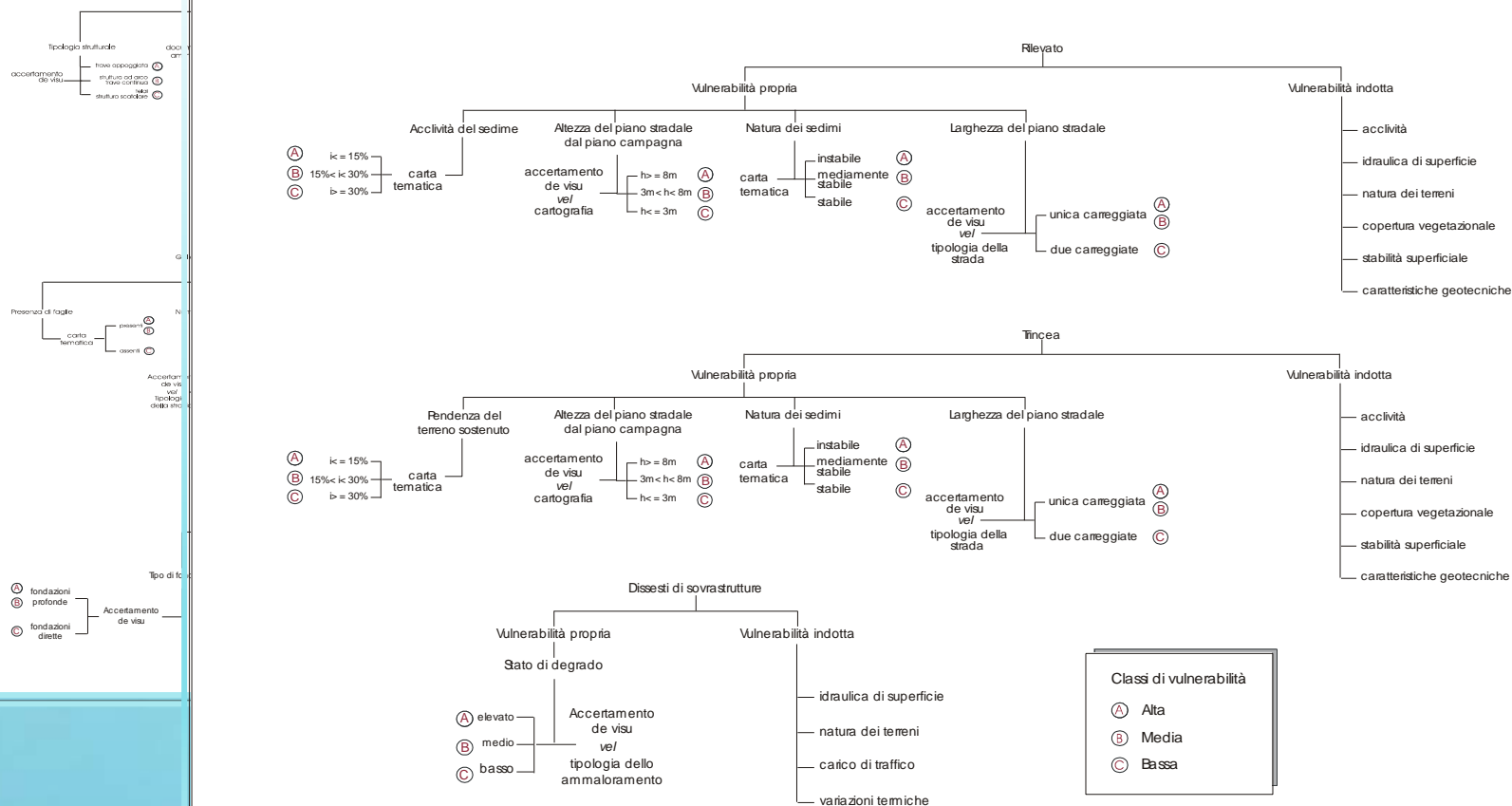


....a cui associare una classe di rischio)

Un'applicazione ...

Cedimenti strutturali delle opere d'arte: viadotti, gallerie, opere di sostegno e opere minori.

Cedimenti e/o deformazioni del corpo stradale: rilevato, trincea e pavimentazioni.

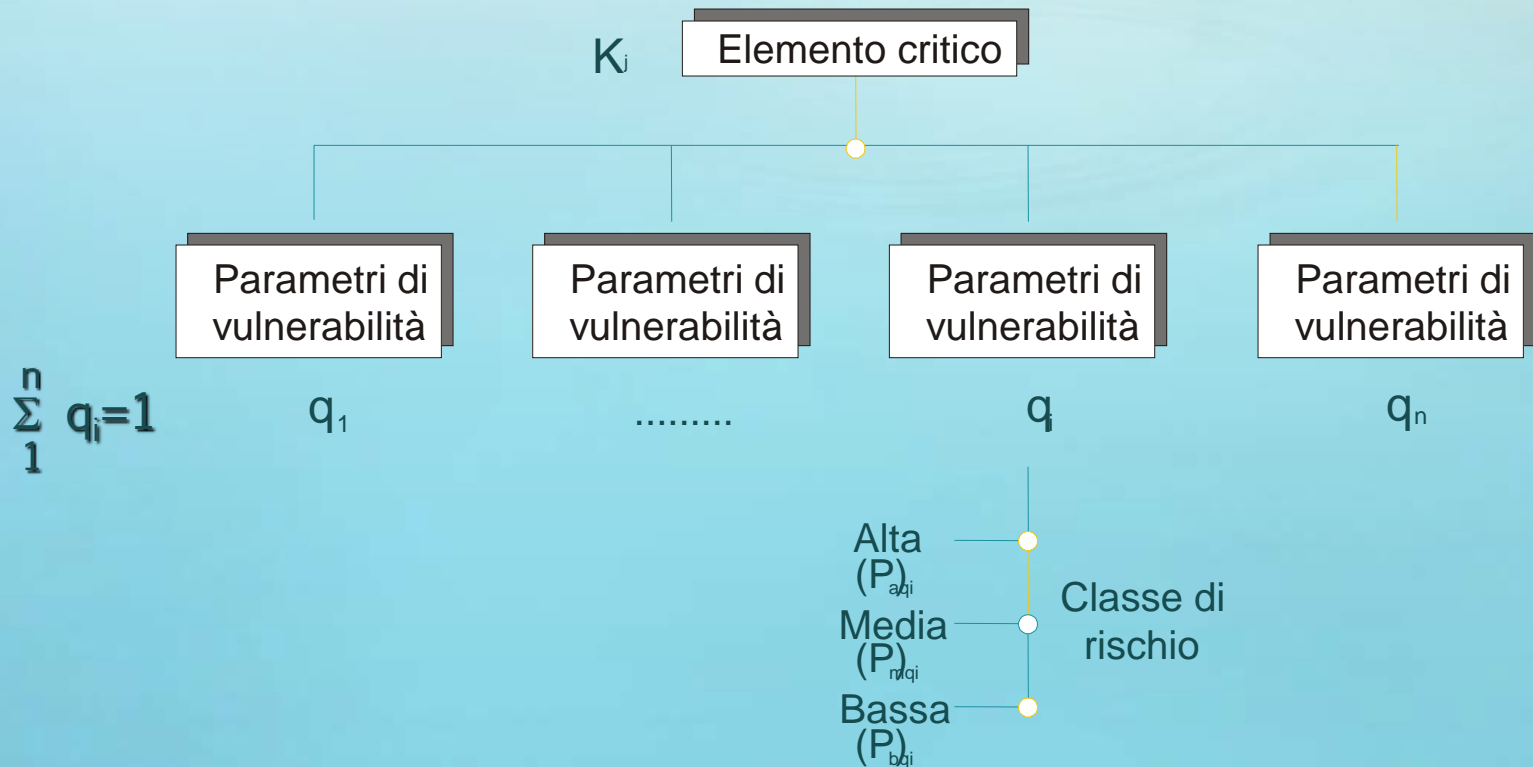


# Un'applicazione ...

## Calcolo della vulnerabilità relativa dell'elemento critico

$$V_{re} = K_j \sum_{i=1}^n (p_x) q_i$$

con  $X=a$   
 $X=m$   
 $X=b$  } in funzione  
 dell'indagine  
 risultante  
 dall'assegnazione



## Un'applicazione ...

*Calcolo della vulnerabilità relativa della tratta per effetto degli elementi critici in essa presenti*



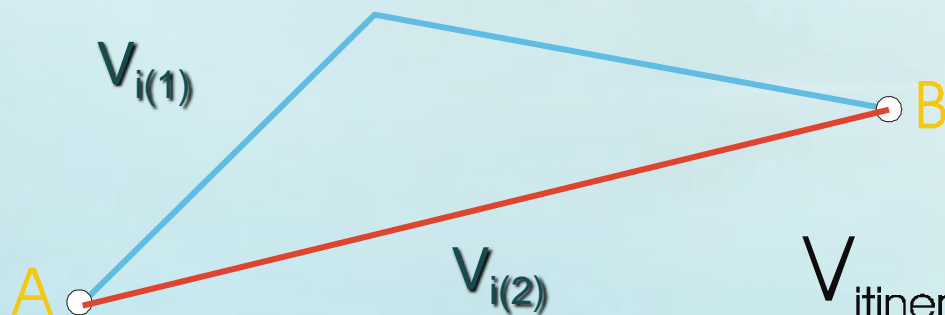
$$V_T = V [\text{ev.}_1 \cup \text{ev.}_2] = V [\text{ev.}_1] + V [\text{ev.}_2] - V [\text{ev.}_1 \cap \text{ev.}_2]$$

*Calcolo della vulnerabilità convenzionale relativa di un itinerario composto da più tratte*



$$V_{i(A-B)} = V_{t1} + V_{t2} - V_{t1} V_{t2}$$

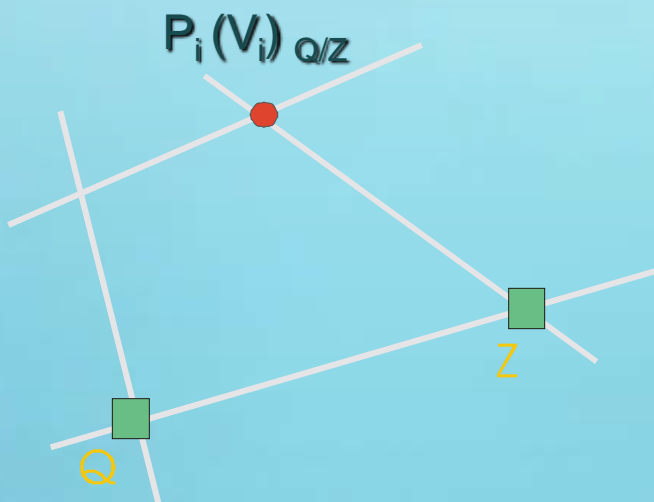
## Calcolo dell'accessibilità della rete



$$V_{\text{itinerario}} = \prod_{i=1}^n V_i$$

## Un'applicazione ...

### Calcolo della vulnerabilità della rete per una generica posizione del C.P.C.



$$\sum (V_i)_{\text{C.P.C.}} P_i$$

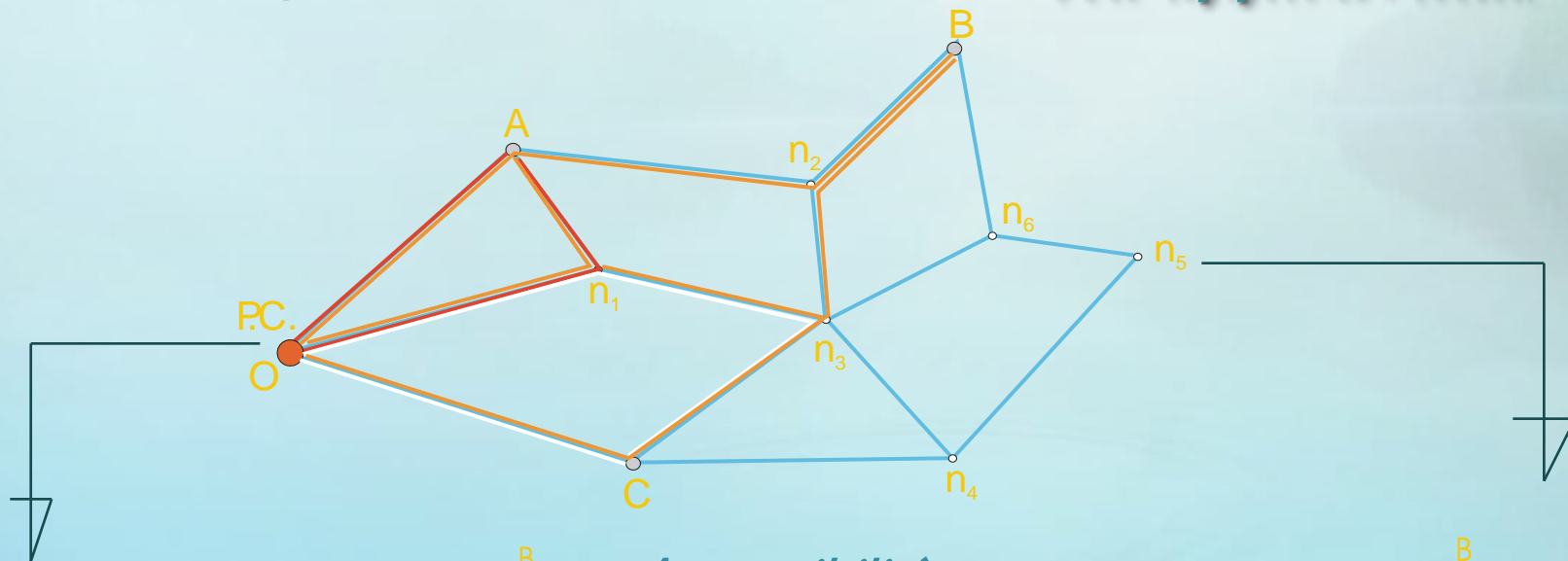
$$Q = \sum P_i(V_i)_Q$$

$$Z = \sum P_i(V_i)_Z$$

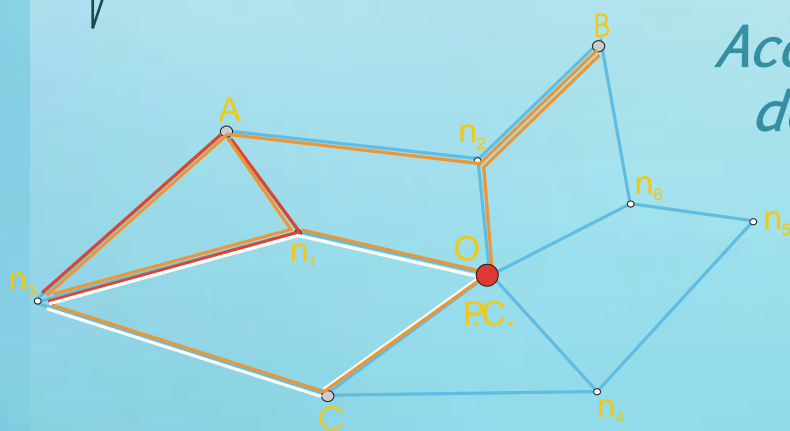
se  $Q < Z$   
allora Q è preferibile  
nel rapporto  $Z/Q$

*Individuazione degli itinerari possibili tra la  
base logistica del C.P.C. e i centri abitati*

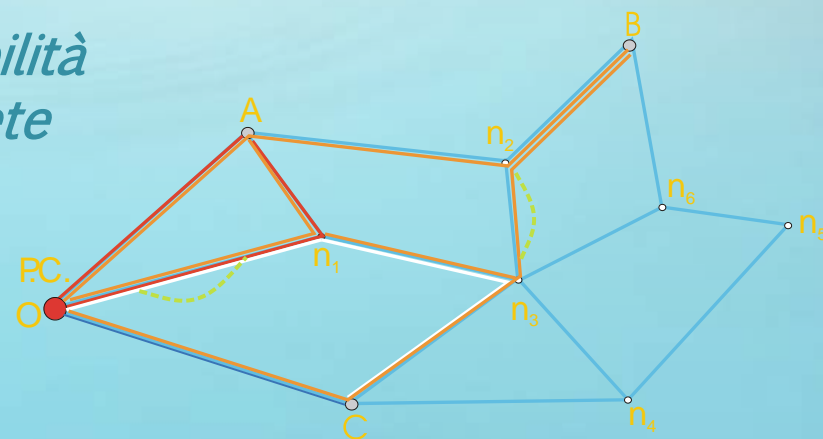
*Un'applicazione ...*



*Accessibilità  
della rete*



*Diversa localizzazione del C.P.C.  
tesa ad ottimizzare l'accessibilità  
della rete*



*Interventi specifici sulle aste più  
critiche al fine di aumentare  
l'affidabilità della rete*



*Grazie per l'attenzione*

*[mariarosaria.deblasiis@uniroma3.it](mailto:mariarosaria.deblasiis@uniroma3.it)*