



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, DELL' AMBIENTE,
DEL TERRITORIO E ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE
ANNO ACCADEMICO 2012/2013

PEDEMONTANA ABRUZZO-MARCHE TRATTA
SS 81: GUARDIAGRELE EST – FARA SAN
MARTINO. IPOTESI DI SOLUZIONE DELLO
SVINCOLO DI CASOLI

PEDEMONTANA ABRUZZO-MARCHE SECTION
SS 81: GUARDIAGRELE EST – FARA SAN
MARTINO. A POSSIBLE DESIGN SOLUTION FOR
GRADE SEPARATED INTERSECTION LOCATED IN
CASOLI

Relatore

Chiar.mo Prof. Ing. ANTONIO MONTEPARA

Correlatore

Ing. DARIO PECCHINI

Tesi di Laurea Magistrale di

ANDREA PERINI

Matr. 229824

INDICE

INTRODUZIONE

Pag. 1

Capitolo primo

1.1 INQUADRAMENTO TEMATICO-TERRITORIALE	>> 4
1.2 LA CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA	>> 10
1.2.1 Le classi di pericolosità geomorfologica	>> 14
1.3 LE CLASSI DI RISCHIO	>> 16
1.4 LE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE	>> 18
1.4.1 Le classi di pericolosità idraulica	>> 18
1.4.2 Piano Stralcio Difesa Alluvioni – Norme di Attuazione	>> 19
1.4.3 Studi di compatibilità idraulica	>> 21

Capitolo secondo

2.1 STATO DELLE INFRASTRUTTURE ESISTENTI	>> 26
2.2 INDAGINI DEL PIANO REGIONALE INTEGRATO DEI TRASPORTI (PRIT)	>> 27
2.2.1 Studio della mobilità stradale	>> 29

Capitolo terzo

3.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	>> 34
3.2 ANDAMENTO PLANIMETRICO DELL'ASSE	>> 34
3.2.1 Rettifici	>> 35
3.2.2 Curve circolari	>> 36
3.2.3 Pendenze trasversali	>> 38
3.2.4 Curve a raggio variabile	>> 41
3.2.5 Verifica del parametro di scala	>> 42
3.2.6 Pendenze trasversali nelle curve a raggio variabile	>> 45
3.2.7 Valori massimi e minimi della pendenza Δi	>> 46
3.2.8 Allargamento in curva	>> 46

3.3 ANDAMENTO ALTIMETRICO DELL'ASSE	>> 47
3.3.1 Raccordi verticali	>> 48
3.3.2 Distanze di visibilità	>> 49
3.3.3 Raccordi verticali convessi (dossi)	>> 54
3.3.4 Raccordi verticali concavi (sacche)	>> 56
3.3.5 Diagramma delle velocità	>> 57
3.3.6 Lunghezza di transizione	>> 58
3.3.7 Distanza di riconoscimento	>> 59
3.3.8 Perdita di tracciato	>> 60
3.4 SEZIONI TRASVERSALI	>> 61
3.5 MOVIMENTI DI TERRA	>> 62
3.6 ZONA D'OCCUPAZIONE	>> 63
3.7 BARRIERE DI SICUREZZA	>> 63
3.8 ELABORATI GRAFICI	>> 66

Capitolo quarto

4.1 INTERSEZIONI STRADALI	>> 68
4.2 INTERSEZIONI A ROTATORIA	>> 77
4.2.1 La capacità delle rotatorie	>> 81
4.2.2 Descrizione tecnica delle rotatorie di progetto	>> 89
4.3 INTERSEZIONI A LIVELLI SFALSATI	>> 95
4.4 DESCRIZIONE GEOMETRICA DELLE RAMPE DI PROGETTO	>> 98

CONCLUSIONI >> **103**

BIBLIOGRAFIA >> **107**

Ai miei genitori e a Silvia

INTRODUZIONE

Il processo di sviluppo economico nella Regione Abruzzo ha determinato una concentrazione degli insediamenti nella parte costiera, generando massicci spostamenti produttivi da Ovest ad Est, accompagnati da fenomeni di inurbamento e creazione di poli che hanno messo in crisi in molte aree le strutture dei trasporti per la loro inadeguatezza a supportare questo tipo di sviluppo.

In particolare, si evidenzia un forte decremento demografico nelle aree interne legato allo spostamento della popolazione verso le zone ubicate a valle e nella fascia costiera; tale fenomeno interessa soprattutto i comuni sotto i 1.000-1.500 abitanti, caratterizzati da bassi tassi di natalità e da un sostenuto processo di invecchiamento.

L'oggetto del presente studio di tesi è rappresentato dallo svolgimento di una proposta progettuale riguardante la "Pedemontana Abruzzo-Marche" nel tratto tra Guardiagrele Est e Fara San Martino, nello specifico nella zona tra Piano Aventino e Selva Piana nei pressi del comune di Casoli (CH). Tale progetto rientra in uno ben più ampio che riguarda la costruzione di un collegamento viario dorsale collinare, che da Ascoli Piceno muove verso Sud fino a Chieti, per poi innestarsi sulla viabilità esistente fino a Casoli, e da qui proseguire verso Sud in direzione del Molise. Si tratta, in sostanza, di un collegamento longitudinale posizionato nella media alta collina, arretrato rispetto alla costa, che dalla Ascoli-Mare, a Castel di Lama Stazione (AP), attraversa la Val Vibrata, la Val Fino e prosegue lungo il Fondovalle per raggiungere, attraverso l'area vestina, il raccordo autostradale posto nei pressi di Chieti ed arrivare più a Sud nella SS 650 in prossimità del Fondovalle Trigno. Essa, pertanto, costituisce un riadeguamento della tradizionale SS 81 Piceno Aprutina, tramite la costruzione di nuovi tracciati e il miglioramento di quelli già esistenti su quest'ultima.

La realizzazione della Pedemontana Abruzzo-Marche rientra tra le opere previste nell'Intesa Generale Quadro, siglata tra il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e la Regione Abruzzo il 20 dicembre 2002, che individua, ai sensi dell'art. 1 del D.Lgs, n. 190/2001, le opere insistenti sul territorio abruzzese previste dal 1° Programma delle infrastrutture strategiche. L'infrastruttura, essendo concepita come asse finalizzato a depolarizzare la zona costiera, trova tutti i principali assi di comunicazione adriatica,

quali la linea FS Bologna-Bari, la SS 16 Adriatica, l'autostrada A14 Bologna-Taranto, ed i nodi intermodali dei rispettivi Autoporto di Roseto e Interporto Val Pescara.

La direttrice longitudinale "Pedemontana Abruzzo-Marche" è inserita tra le grandi linee di assetto infrastrutturale definite nel Piano Generale dei Trasporti (PGT), che rappresenta l'insieme delle infrastrutture di trasporto di rilevanza nazionale sulle quali si svolgono servizi di livello nazionale.

La gestione dell'infrastruttura rientra nella competenza dell'ANAS (Azienda Autonoma Nazionale delle Strade).



Figura 1: Planimetria della Pedemontana

La prima fase dello studio ha interessato l'individuazione di un corridoio ideale per il passaggio della nuova infrastruttura in modo da non arrecare disagi ai fabbricati presenti nella zona, e non modificare in maniera troppo pesante l'assetto territoriale presente, rispettando i vincoli di natura paesistica e idrogeomorfologica, scaturiti da una zona divenuta negli ultimi anni ad elevato rischio sismico e dalla presenza del fiume Aventino.

La seconda fase dello studio ha riguardato la definizione delle intersezioni che la nuova viabilità andrà a determinare con la rete stradale già esistente. Nello specifico si è studiata una soluzione di svincolo stradale nella zona di Piano Aventino, con l'obiettivo

di collegare la nuova Pedemontana Abruzzo-Marche con la SS 81, permettendo in questo modo di raggiungere il comune di Casoli e favorendo, inoltre, il trasporto merci nella zona industriale.

La Strada Statale 81 Piceno Aprutina è una storica strada statale d'Italia, in passato nota come "via Viscerale". Si tratta di un importante asse di comunicazione tra Marche e Abruzzo che collega la città di Ascoli Piceno con Teramo proseguendo nel chietino finendo nei pressi di Casoli, attraversando tutti i comuni più importanti che si trovano nella fascia pedemontana abruzzese.

Il progetto è stato realizzato con l'utilizzo del programma Civil Design 9.0, creato da Digicorp Ingegneria S.r.l., azienda produttrice e venditrice di software tecnici per il mondo della progettazione e contabilizzazione di opere civili sul territorio. Con esso si è potuto tracciare il percorso migliore, estraendone i profili e le sezioni verificando passo dopo passo i dati inseriti rispetto alla normativa vigente.

CAPITOLO PRIMO

1.1 INQUADRAMENTO TEMATICO-TERRITORIALE

L'Abruzzo sviluppa una superficie territoriale di circa 10.794 mq: è una regione completamente montuosa a meno di una fascia costiera relativamente poco profonda che però copre esclusivamente l'intero settore orientale per un'estensione di circa 120 km. La costa abruzzese è bassa, uniforme e sabbiosa, a volte ricca di scogli, a volte rettilinea, presenta anche ampi golfi, ma poco profondi.

Il territorio abruzzese può essere suddiviso, procedendo da oriente verso occidente, in tre macrozone:

- la fascia collinare, area in cui il rilievo si presenta con un profilo a debole pendenza
- la fascia pedemontana, caratterizzata da rilievi che possono raggiungere i 1000 metri e sono separati da incisioni vallive profonde e a forte pendenza. I rilievi si dispongono generalmente lungo le direttrici appenniniche
- la zona montana, dove i rilievi raggiungono mediamente i 2000-2500 metri con le due vette del Corno Grande, 2912 m, e del Monte Amaro, 2795 m, e risultano contraddistinti da una elevata energia di rilievo ed acclività dei versanti. Il paesaggio montuoso è dominato da ampie conche, spesso di origine tettonica, glaciale e fluvio-glaciale.



Figura 2: Mappa territoriale della regione Abruzzo

Il processo di sviluppo economico nella Regione Abruzzo ha determinato una concentrazione degli insediamenti nella parte costiera, generando massicci spostamenti produttivi da Ovest ad Est, accompagnati da fenomeni di inurbamento e creazione di poli che hanno messo in crisi in molte aree le strutture dei trasporti per la loro inadeguatezza a supportare questo tipo di sviluppo.

La comprensione del rapporto che lega la popolazione insediata nella regione Abruzzo al suo territorio può essere operata attraverso un ventaglio di indicatori. In via preliminare non è superfluo ricordare che il territorio è frutto di un processo interattivo di ricerca dell'equilibrio tra logiche economiche a dinamiche insediative in un contesto spaziale anisotropo ed eterogeneo. A partire da questo assunto è possibile restituire

alcune “immagini” delle tendenze demografica attraverso indicatori di intensità e posizione.

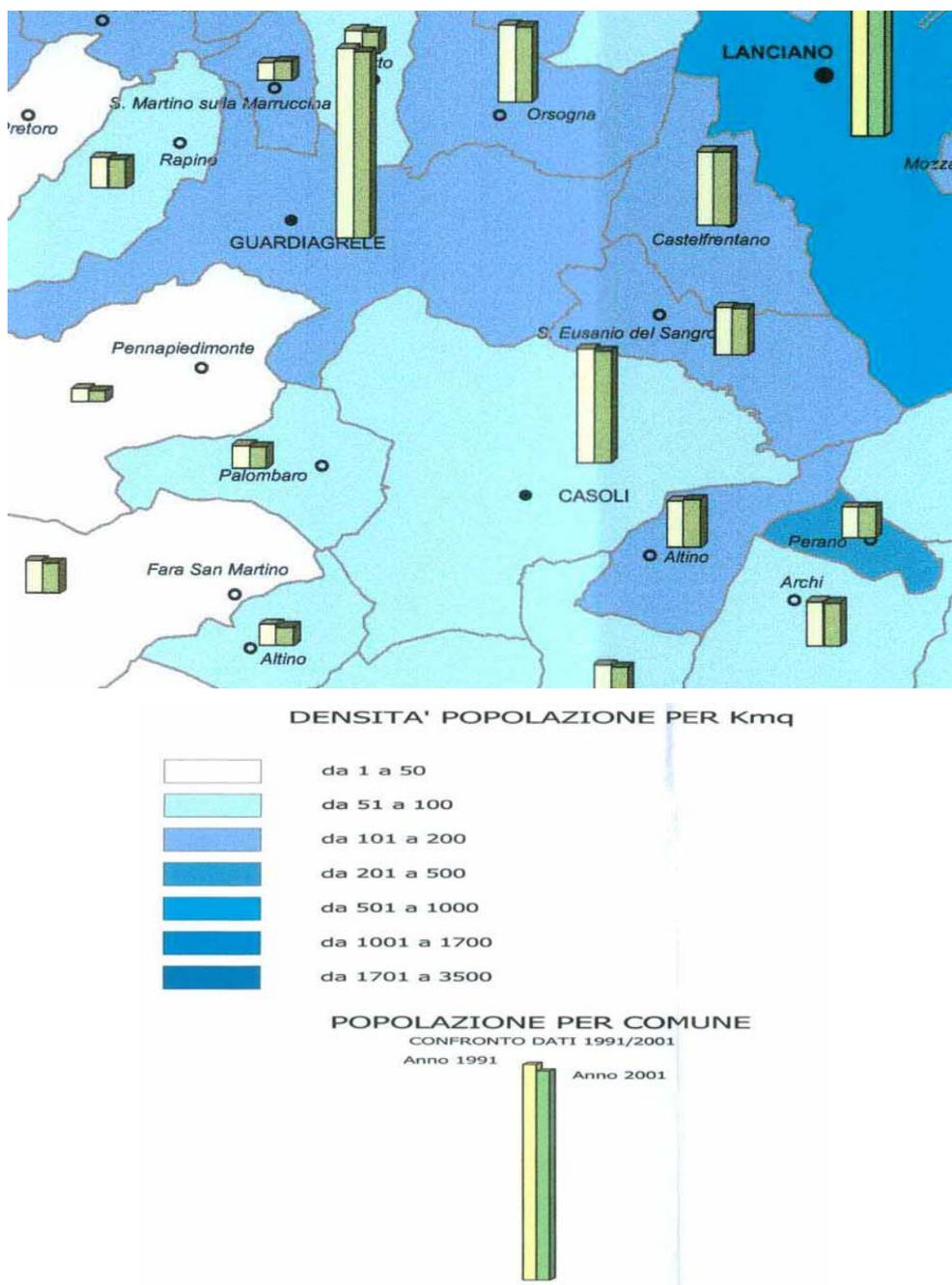


Figura 3. Densità popolazione per Kmq

Nello specifico la presente elaborazione si concentrerà su un comune di Chieti facente parte della Comunità Montana Aventino Medio-Sangro, la quale raggruppa undici

comuni della provincia. È stata istituita con la Legge regionale 14 settembre 1993, n. 53 della Regione Abruzzo, che ne ha anche approvato lo statuto.

Il territorio conta una popolazione interessata di circa 15.824 abitanti pari al 4% della popolazione dell'intera provincia e a circa l'1% di quella regionale. L'evoluzione del territorio si caratterizza per un crescente sviluppo del turismo e delle attività artigianali, frutto della cultura e della storia di queste zone. La popolazione si distribuisce su una superficie di 355,79 kmq con una densità di 44 abitanti per ogni kmq.

Totale ambito	
Numero di Comuni	11
Popolazione (Gennaio 2008)	15.824
Superficie kmq	355,79
Densità (ab./kmq)	44
Provincia di Chieti	
Numero di Comuni	104
Popolazione (Gennaio 2008)	394.452
Superficie kmq	2.588,35
Densità (ab./kmq)	152
Regione Abruzzo	
Numero di Comuni	305
Popolazione (Gennaio 2008)	1.323.987
Superficie kmq	10.794
Densità (ab./kmq)	123

Tabella 1: Demografia Comunità Aventino Medio-Sangro

L'evoluzione demografica mostra una sostenuta riduzione della popolazione residente nell'ambito della provincia di Chieti. In particolare, si evidenzia un forte decremento demografico nelle aree interne legato allo spostamento della popolazione verso le zone ubicate a valle e nella fascia costiera; tale fenomeno interessa soprattutto i Comuni sotto i 1.000-1.500 abitanti, caratterizzati da bassi tassi di natalità e da un sostenuto processo di invecchiamento.

Comunità Montana Aventino - Medio Sangro			
PAESI	Popolazione Gennaio 2008	Popolazione Ottobre 2001	Variazione assoluta
Casoli	5.950	5.971	21
Civitella Messer Raimondo	935	972	37
Colledimacine	266	286	20
Gessopalena	1.649	1.694	45
Lama dei Peligni	1.463	1.486	23
Lettopalena	384	409	25
Palena	1.457	1.478	21
Pennadomo	345	358	13
Roccascalegna	1.398	1.423	25
Taranta Peligna	461	521	60
Torricella Peligna	1.516	1.587	71
TOTALE	15.824	16.185	361
Provincia CHIETI	394.452	382.076	9.237
Regione Abruzzo	1.323.987	1.262.392	47.405

Tabella 2: Demografia di Casoli

Dal punto di vista industriale l'Osservatorio Provinciale Socio Economico della Provincia di Chieti ha rilevato che i comparti più esposti a rischi di crisi o trasformazioni imprenditoriali sono le industrie alimentari, il tessile-abbigliamento, la filiera concia/cuoio e l'indotto metallurgico-metalmeccanico.

Indubbiamente nella Provincia di Chieti, così come nella Comunità Montana Aventino Medio-Sangro, il settore prevalente è quello agricolo; infatti, le imprese agricole rappresentano in Abruzzo un quarto delle imprese totali e, in particolare, nella provincia di Chieti esse costituiscono il 38% del totale provinciale e quasi la metà dell'agricoltura regionale.

Il comune della suddetta zona su cui si soffermerà l'elaborazione corrisponde a Casoli, che conta una popolazione di 5.950 abitanti.

Cod. ISTAT	Comune	Superficie (Kmq)	Popolazione	Densità (Ab/Kmq)
069017	Casoli	66,6	5950	89
069024	Civitella Messer Raimondo	12,4	935	75
069025	Colledimacine	11,39	266	23
069040	Gessopalena	31,4	1649	53
069045	Lama dei Peligni	31,3	1463	47
069048	Lettopalena	20,7	384	19
069060	Palena	91,7	1457	16
069063	Pennadomo	11,3	345	31
069075	Roccascalegna	22,6	1398	62
069089	Taranta Peligna	21	461	22
069095	Torricella Peligna	35,4	1516	43
TOTALE		289,19	15824	

Tabella 3: Demografia di Casoli

Il territorio, arroccato su una struttura piramidale, abbraccia un'ampia area collinare, ed è situato all'imbocco della valle del Fiume Aventino (378 m s.l.m.) vicino al Fiume Verde e poco distante dal Lago di Sant'Angelo. Nel territorio si trovano la riserva naturale Lago di Serranella, caratterizzata da ampie zone impaludate alla foce del torrente Gogna, ed il lago di Sant'Angelo, presso la Torre di Prata (detta La Torretta), un bacino artificiale creato nel 1956 dallo sbarramento dell'Aventino.

Nello specifico la progettazione stradale riguarda due frazioni della provincia di Chieti: Piano Aventino e Selva Piana. La frazione di Piano Aventino dista 1,94 chilometri dal medesimo comune di Casoli a cui essa appartiene; sorge a 223 metri sul livello del mare. Ci risiedono 66 abitanti. La frazione di Selva Piana dista 1,62 chilometri dal medesimo comune di Casoli cui essa appartiene; sorge a 156 metri sul livello del mare. Ci risiedono 368 abitanti.

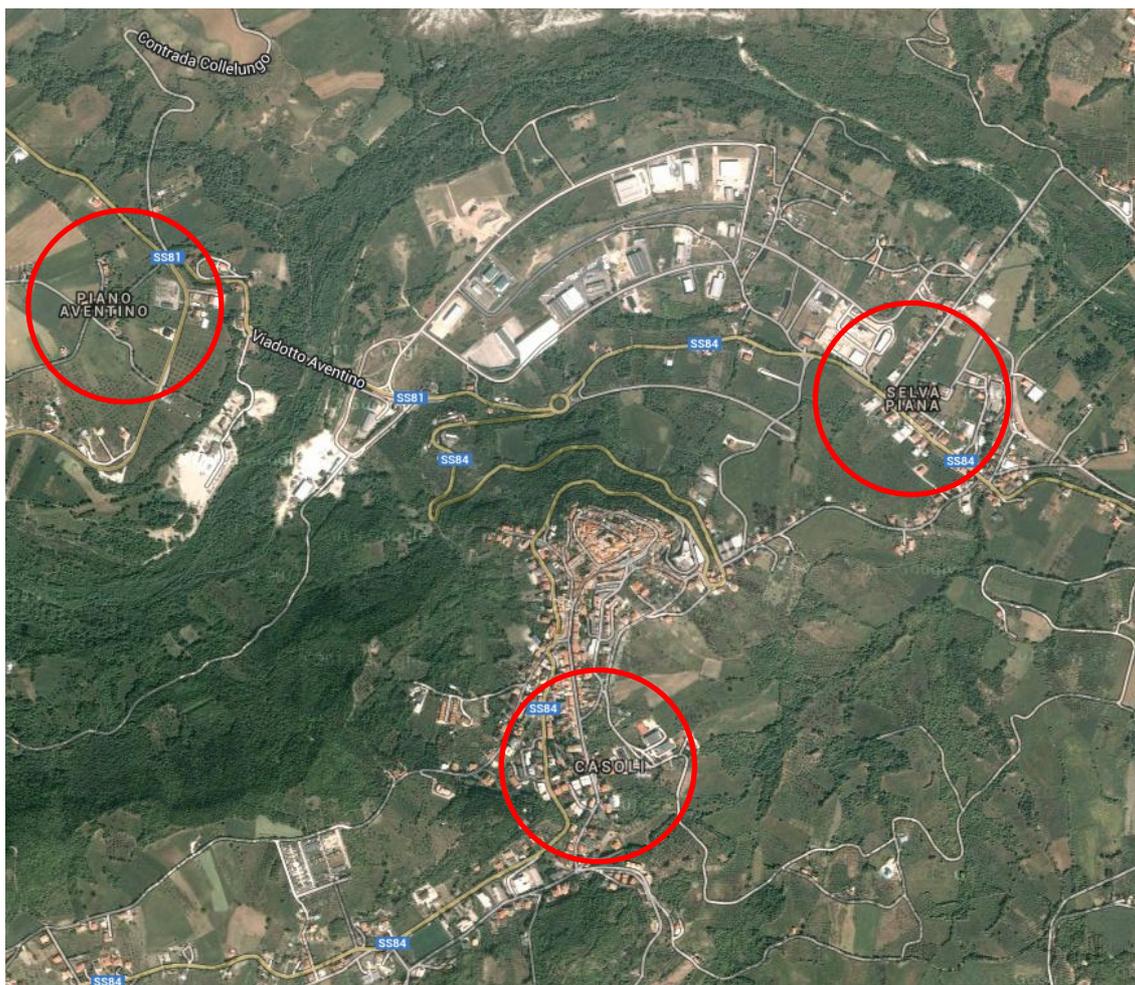


Figura 4: Vista da Google Maps

1.2 LA CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA

Le caratteristiche fisiche della Regione Abruzzo, determinatesi in seguito agli avvenimenti geologici delle ere passate, e tuttora in corso, hanno sottoposto il territorio a molteplici fenomeni di dissesto.

Le definizioni su cui si basano le determinazioni di pericolosità riferita al dissesto del territorio sono le seguenti :

- Fenomeno gravitativo (frana): movimento gravitativo di una massa di roccia, di terra o detrito lungo un versante distinto per tipo di materiale, dimensioni della massa e tipo di movimento (traslazione, rotazione, ecc.).
- Processo erosivo: processo di rimozione del suolo ad opera degli agenti superficiali.
- Dissesto: fenomeno gravitativo o processo erosivo.

I fenomeni gravitativi e i processi erosivi sono suddivisi in funzione dello stato di attività, discriminato su base storico-geomorfologica e tramite studi puntuali. Nello specifico si osservano tre differenti stati:

1. Attivi: forme e depositi associati a processi in atto al momento del rilevamento o che ricorrono stagionalmente.
2. Quiescenti: forme e depositi non attivi al momento del rilevamento, per i quali esistono indizi di un'oggettiva possibilità di riattivazione, in quanto non hanno esaurito la propria potenzialità di evoluzione, e per i quali permangono le cause predisponenti al movimento.
3. Inattivi: forme e depositi che non possono essere riattivati in quanto si sono sviluppati in condizioni geomorfologiche e/o climatiche considerevolmente diverse dalle attuali.

Infine, si aggiungono i dissesti le cui cause sono state rimosse naturalmente (stabilizzati naturalmente) o da opere di stabilizzazione (stabilizzati artificialmente).

Allo stato attuale delle conoscenze è pressoché impossibile determinare con sufficiente precisione il momento e il luogo in cui si possa verificare un singolo fenomeno franoso. Per una tale valutazione della pericolosità sono, infatti, necessarie informazioni dettagliate e soprattutto uniformemente distribuite sul territorio, sulla ricorrenza temporale dei fenomeni franosi e/o sulle loro cause (precipitazioni, sismicità, azioni antropiche, ecc.).

Per la realizzazione della Carta della Pericolosità è stata adottata una definizione semplificata che tiene conto solo di una parte del complesso dei caratteri spazio-temporali del dissesto. In sostanza, il concetto di pericolosità è stato svincolato da previsioni probabilistiche temporali.

In questo modo si è venuto ad esprimere il grado di pericolosità relativa, ovvero la probabilità di occorrenza relativa del dissesto fra le diverse porzioni di territorio senza dare indicazioni temporali circa il suo verificarsi.

In pratica, la definizione canonica di pericolosità quale *“probabilità che un fenomeno di dissesto di determinata intensità si verifichi in una determinata area in un determinato intervallo di tempo”*, è stata semplificata ai fini del presente Piano come segue: *“probabilità che un fenomeno di dissesto si verifichi in una determinata area”*.

La procedura seguita si basa sull'elaborazione statistica del database dei dissesti censiti all'interno dell'area in studio in funzione del loro numero, tipologia, stato di attività, litologia e acclività del versante interessato dal dissesto stesso. Altri fattori, come le precipitazioni meteoriche, pur rappresentando un importante fattore di innesco dei fenomeni di dissesto, non sono stati considerati per la mancanza di informazioni spazio-temporali di sufficiente dettaglio.

La cartografia prodotta, a scala 1: 25.000, pur facendo riferimento alla suddetta definizione semplificata di pericolosità, risulta altamente significativa giacché l'approccio metodologico fa riferimento al principio che più alta è la concentrazione di dissesti più alta è la possibilità che se ne verifichino dei nuovi o che quelli presenti siano soggetti a riattivazione. Notoriamente, gran parte degli eventi franosi altro non sono che la riattivazione di dissesti precedenti; vari studi dimostrano che, se si fa riferimento ai recenti fenomeni franosi o se si confronta la carta del dissesto con quella della franosità storica, si può riscontrare una sistematica persistenza dei fenomeni franosi con riattivazione periodica.

Si può facilmente dimostrare come la riattivazione di antichi fenomeni franosi considerati ormai stabilizzati, sui quali o in prossimità dei quali è avvenuto lo sviluppo di insediamenti umani o di reti infrastrutturali, comporti un rischio di gran lunga superiore a quello di fenomeni franosi attivi che evolvono con cadenza stagionale e con movimenti prevedibili e comunque presentano un rischio minore in quanto sono raramente sede di insediamenti umani.

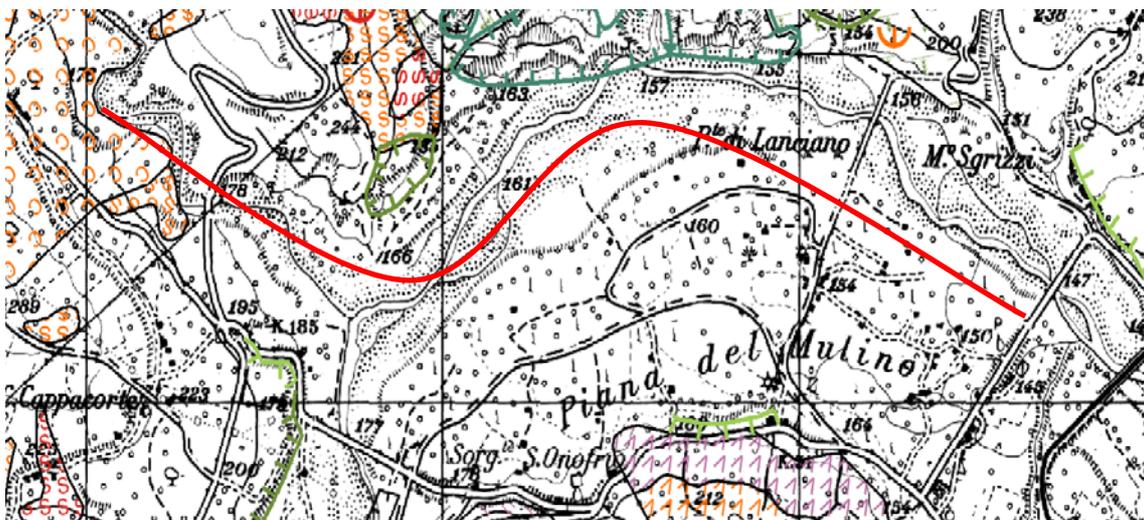


Figura 5: Carta della pericolosità geomorfologica

Come si desume dalla Figura 5 soprastante, il tracciato oggetto dell'elaborazione non si colloca in nessuna zona di particolare pericolosità geomorfologica. L'unica eccezione si nota nel primo tratto di percorso, in cui sono presenti corpi di frana di colamento, ovvero una deformazione continua nello spazio di materiali lapidei e sciolti.

I colamenti coinvolgono sia materiali rocciosi o detritici, che sciolti, ed in questo caso l'aspetto del corpo di frana è chiaramente quello di un materiale che si è mosso come un fluido. Questi ultimi tipi sono molto rapidi, si parla anche di colate rapide di fango.

		STATO DI ATTIVITA'		
		ATTIVO	QUIESCENTE	NON ATTIVO
FORME SPITTIGLI	Orlo di scarpata di faglia			
	Orlo di scarpata con influenza strutturale			
	Orlo di scarpata di linea di faglia			
	Orlo di scarpata con influenza strutturale interessata da caduta di detrito			
FORME PROCESSI E ESPOSTI GRADIVI DI RESCANTE	Orlo di scarpata di degradazione e/o di frana			
	Trinca o fessura			
	Frattura di trazione			
	Versante interessato da deformazione profonda			
	Versante interessato da deformazioni superficiali lente			
	Corpo di frana di crollo e ribaltamento			
	Corpo di frana di scomimento: da traslazione			
	Corpo di frana di scomimento: da rotazione			
	Corpo di frana di colamento			
	Corpo di frana di genesi complessa (inclusi i fenomeni di trasporto e di massa)			
Piccola frana o gruppo di piccole frane non classificate				
Contropendenza significativa nel corpo di frana				
FORME PROCESSI E ESPOSTI PER ACQUE CORRENTI SUPERFICIALI	Orlo di scarpata di erosione fluviale o torrentizia			
	Alveo con erosione laterale o sponda in erosione			
	Alveo con tendenza all'approfondimento			
	Bolco da ruscellamento concentrato			
	Superficie a calanchi e forme similari			
	Superficie con forme di dilavamento prevalentemente diffuso			
	Superficie con forme di dilavamento prevalentemente concentrato			
	Conoidi alluvionali			
	Cono di origine mista			
	Depressione palustre			
FORME CARPINE	Dolina			
	Campo di doline			
	Inghiottitolo			
FORME PROCESSI E ESPOSTI DOLINALI	Forme di erosione			
	Forme di accumulo			
FORME SCAVALI	Orlo di scarpata			
	Orlo di circo			
FORME E PROCESSI MARINO COSTIERI	Orlo di scarpata di erosione marina			
	Orlo di scarpata artificiale			
	Terrazzamento agrario			
	Scamamento			
FORME PROCESSI ANTROPICI	Lago artificiale			
	Cavità sotterranee naturali e/o antropiche			

Tabella 4: Elementi di pericolosità

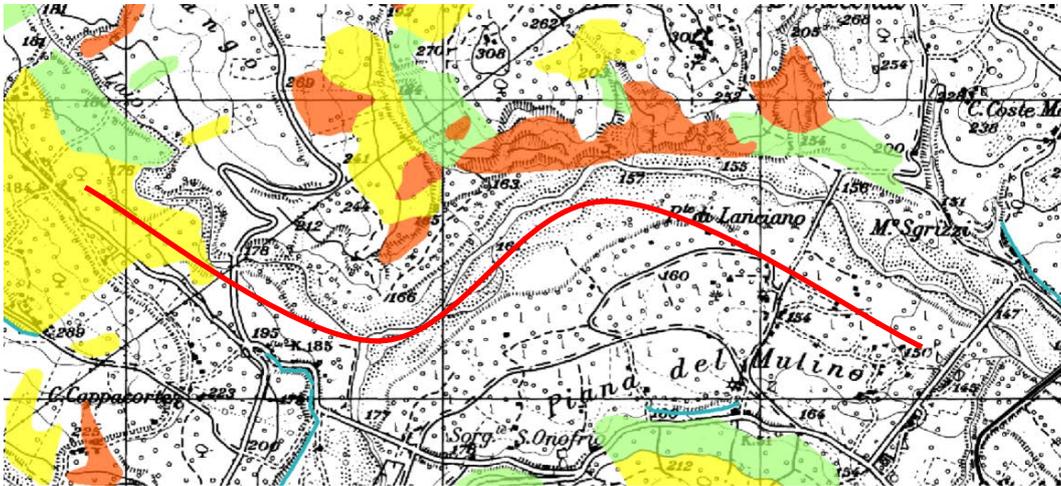
1.2.1 Le classi di pericolosità geomorfologica

Alle categorie di dissesto, considerate singolarmente o per gruppi, differenziate quando possibile per stato di attività, è stato assegnato un determinato livello di pericolosità, in base alla pendenza dei versanti e alla litologia del territorio.

Sono stati stabiliti quattro livelli di pericolosità denominati P3, P2, P1 e Pscarpate.

1. P3 – pericolosità molto elevata. Si tratta di aree caratterizzate dalla presenza delle seguenti categorie di dissesto allo stato attivo: versanti vistosamente interessati da deformazione profonda, versanti interessati da deformazioni superficiali lente attive, corpi di frana per crollo e ribaltamento attivi, corpi di frana di genesi complessa attivi, corpi di frana di colamento attivi, corpi di frana di scorrimento traslativo attivi, corpi di frana di scorrimento rotazionale attivi e le superfici a calanchi e forme similari
2. P2 – pericolosità elevata. Corrispondono ad aree caratterizzate dalla presenza delle seguenti categorie di dissesto allo stato quiescente o inattivo con alta possibilità di riattivazione: versanti interessati da deformazioni superficiali lente quiescenti e inattive, corpi di frana per crollo e ribaltamento quiescenti e inattivi, superfici con forme di dilavamento prevalentemente diffuso e prevalentemente concentrato attive, corpi di frana di genesi complessa quiescenti e inattivi, corpi di frana di colamento quiescenti e inattivi, corpi di frana di scorrimento traslativo quiescenti, corpi di frana di scorrimento rotazionale quiescenti e inattivi
3. P1 – pericolosità moderata. Ci si riferisce ad aree caratterizzate dalla presenza delle seguenti categorie di dissesto allo stato quiescente o inattivo con bassa possibilità di riattivazione: versanti interessati da deformazioni superficiali lente quiescenti e inattive, corpi di frana per crollo e ribaltamento quiescenti e inattivi, superfici con forme di dilavamento prevalentemente diffuso e prevalentemente concentrato quiescenti e inattive, corpi di frana di genesi complessa quiescenti e inattivi, corpi di frana di colamento quiescenti e inattivi, corpi di frana di scorrimento traslativo inattivi, corpi di frana di scorrimento rotazionale quiescenti e inattivi
4. Pscarpate – pericolosità da scarpate, ovvero aree caratterizzate dalla presenza di scarpate in qualsiasi stato di attività. Per definizione si tratta di aree aventi forma

molto allungata il cui lato corto assume un'espressione cartografica del tutto indicativa.



CLASSI DI PERICOLOSITA'

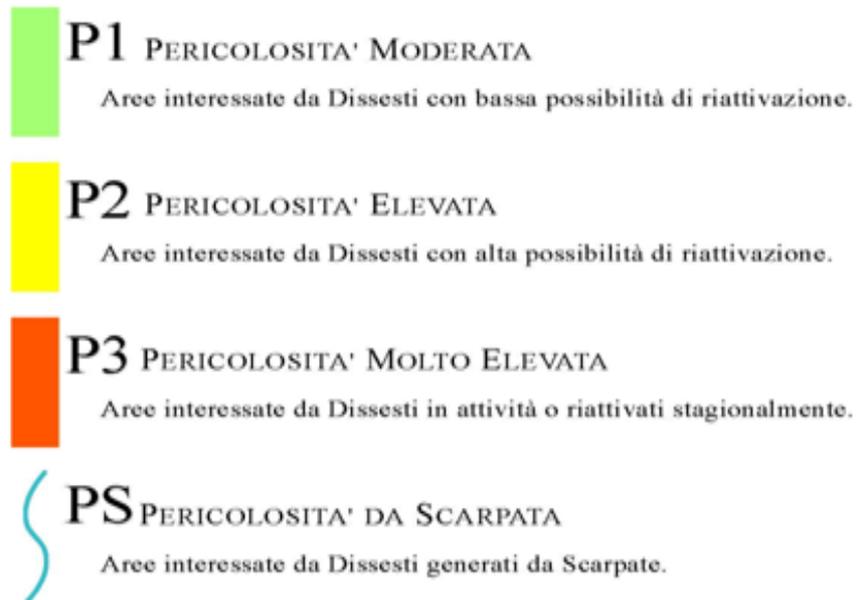


Figura 6: Classi di pericolosità

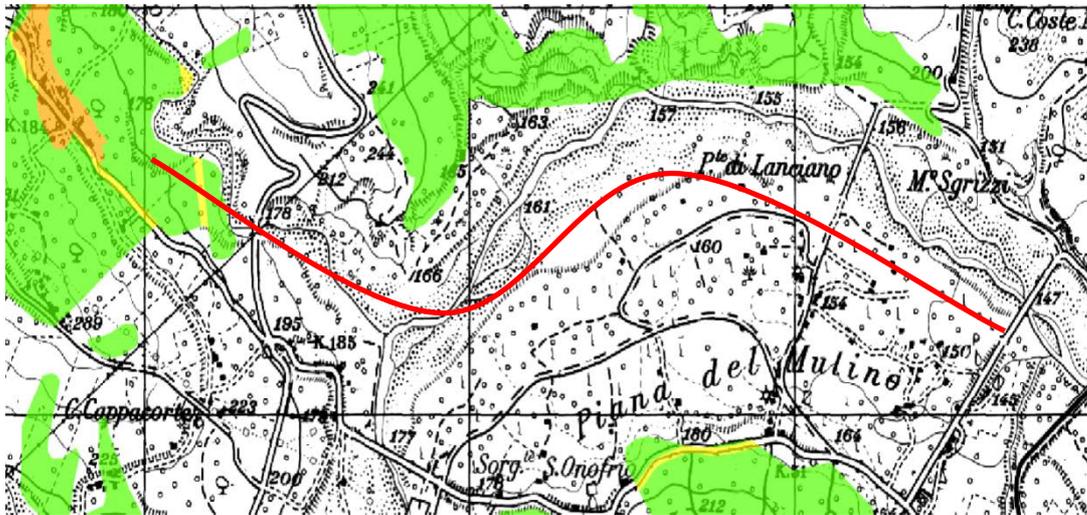
Come si evidenzia dalla Figura 6 il tracciato non si colloca in nessuna delle classi di pericolosità, fatta eccezione per il primo tratto il quale è posto nella classe P2, ovvero una zona a pericolosità elevata in quanto è interessata da dissesti con alta probabilità di riattivazione.

1.3 LE CLASSI DI RISCHIO

Per determinare il rischio ambientale occorre preliminarmente valutare la vulnerabilità, ossia il possibile grado di danneggiamento delle infrastrutture esistenti e di progetto, e la pericolosità del territorio. La specificazione della pericolosità avviene tramite l'analisi delle componenti fisiche (geologia, morfologia, pedologia, idrogeologia, idrologia, climatologia) e delle componenti biotiche (vegetazionali e faunistiche). Diversamente la definizione della vulnerabilità avviene tramite l'analisi delle condizioni territoriali (esposizione al pericolo, valore socio-economico, livello di organizzazione sociale, programmazione).

Dall'intersezione degli elementi riportati sulla Carta della Pericolosità con quelli riportati sulla Carta degli Insediamenti Urbani e Infrastrutturali, deriva la Carta delle Aree a Rischio. Considerate le esperienze di pianificazione di bacino fatte finora in Italia, le quattro classi di rischio previste dalla normativa vigente sono state definite come segue.

1. R4 – molto elevato. Per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi agli edifici e alle infrastrutture, la distruzione di attività socio-economiche
2. R3 – elevato. Per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità delle attività socio- economiche
3. R2 – medio. Per il quale sono possibili danni minori agli edifici e alle infrastrutture che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
4. R1 – moderato. Per il quale i danni sociali ed economici sono marginali.



CLASSI DI RISCHIO

- R1 RISCHIO MODERATO**
 per il quale i danni sociali ed economici sono marginali.

- R2 RISCHIO MEDIO**
 per il quale sono possibili danni minori agli edifici e alle infrastrutture che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche.

- R3 RISCHIO ELEVATO**
 per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alee infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche.

- R4 RISCHIO MOLTO ELEVATO**
 per il quale sono possibili la perdita delle vite umane e lesioni gravi agli edifici e alle infrastrutture, la distruzione di attività socio-economiche.

Figura 7: Classi di rischio

Dalla Figura 7 si può osservare come la progettazione studiata sia situata in una zona non soggetta a rischio geomorfologico. Fa eccezione il primo tratto il quale si colloca in una zona per la maggior parte a rischio moderato R1, per il quale i danni sociali ed economici sono marginali, e per una piccola porzione a rischio medio R2, in cui sono possibili danni minori agli edifici e alle infrastrutture che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche.

1.4 LE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Dal punto di vista idrologico l'attenzione va posta sul Fiume Sangro. Il territorio compreso nel suo bacino imbrifero è di 1.545 kmq (il 17,2% del territorio abruzzese). Su di esso insistono parte dei territori del Parco Nazionale della Majella e del Parco Nazionale d'Abruzzo.

Il bacino è attraversato sulla costa da importanti direttrici in direzione Nord-Sud (Autostrada A24, SS 16 Adriatica, Ferrovia Adriatica), e percorso interamente da direttrici di traffico trasversali (Est-Ovest), quali la SS 652 "Fondovalle Sangro", asse portante del sistema infrastrutturale dell'area, la rete ferroviaria della Sangritana, che corre parallela a quest'ultima e al corso fluviale del Sangro, la SS 84, che attraversa la valle dell'Aventino.

A tal proposito gli interventi riguardanti la sua manutenzione idraulica e riqualificazione sono stati progettati in modo tale da mettere in sicurezza le aree comprese all'interno del bacino idrografico le quali sono soggette a fenomeni di rischio idraulico e di dissesto idrogeologico.

Nello specifico la progettazione riguarda un affluente del Sangro, ovvero il fiume Aventino. È localizzato nella parte meridionale dell'Abruzzo nella quale scorre per circa 45 km. Nasce sul Monte Porrara dalla confluenza delle acque del torrente Cotaio e della sorgente di Capo di Fiume nel territorio comunale di Palena, in provincia di Chieti. È un fiume a carattere torrentizio con portata variabile in base alla stagione.

1.4.1 Le classi di pericolosità idraulica

Disponendo di serie complete di dati omogenei ed adatti a elaborazioni statistiche, la pericolosità può essere valutata come la probabilità che in una determinata zona, entro un determinato intervallo di tempo, possa verificarsi un evento dannoso di una data intensità. Non disponendo di dati è invece possibile adottare procedure semplificate, basate su indicatori ritenuti significativi dello stato di dissesto del territorio e desunti dall'analisi di dati storici. Questi possono essere integrati con altri derivabili da un'analisi morfologica del territorio e da studi idrologici ed idraulici.

In particolare, la valutazione della pericolosità idraulica è stata effettuata stimando la capacità dell'alveo di contenere la piena di riferimento e, in caso di inadeguatezza della

sua sezione, determinando le caratteristiche dell'onda di sommersione che invade il territorio circostante (livelli e velocità dell'acqua, tempi di permanenza, ecc...).

In particolare vengono individuate 4 classi di pericolosità idraulica:

1. Classe di pericolosità molto elevata, la quale fa riferimento ad un evento caratterizzato da un tempo di ritorno $Tr = 50$ anni e/o all'instaurarsi di condizioni di lama d'acqua massima raggiunta sul piano campagna superiore ad 1m o ad una velocità massima di trasferimento, sempre sul piano campagna, superiore ad 1m/s
2. Classe di pericolosità elevata, si riferisce ad un evento caratterizzato da un $Tr = 50$ anni e all'instaurarsi di condizioni di lama d'acqua massima raggiunta sul piano campagna compresa tra 50cm ed 1m; oppure a condizioni come quelle stabilite per la pericolosità molto elevata (lama d'acqua massima maggiore di 1m oppure velocità maggiore di 1m/s) ma per un evento di piena più raro ($Tr = 100$ anni)
3. Classe di pericolosità media, definisce un evento caratterizzato da un $Tr = 100$ anni e all'instaurarsi di condizioni di lama d'acqua massima raggiunta sul piano campagna compresa tra 0 cm ed 1 m
4. Classe di pericolosità bassa, corrisponde ad un evento di piena raro, caratterizzato da un $Tr = 200$ anni in qualunque condizione di lama d'acqua e di velocità sul piano campagna.

Le porzioni del piano campagna che soddisfano le condizioni di appartenenza di più classi di pericolosità idraulica vengono collocate nella classe a pericolosità maggiore.

1.4.2 Piano Stralcio Difesa Alluvioni – Norme di Attuazione

È fondamentale considerare che tutti i nuovi interventi, opere ed attività ammissibili nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata, elevata e media siano realizzati o iniziati subordinatamente alla presentazione dello studio di compatibilità idraulica. A tal proposito la realizzazione di un'opera infrastrutturale non può non prescindere dall'attuazione del Piano Stralcio Difesa Alluvioni (PSDA). Corrisponde allo strumento per la programmazione delle azioni (opere, vincoli e direttive) necessarie a conseguire un assetto fisico dei corsi d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica e del suolo e la difesa delle componenti ambientali, nonché per

l'individuazione delle misure da adottare nelle aree a rischio alluvionale e/o da sottoporre a salvaguardia. All'interno di questo piano, si colloca il programma di interventi di manutenzione idraulica e riqualificazione ambientale del Fiume Sangro.

Il PSDA individua e perimetra le aree di pericolosità idraulica mediante la valutazione dei livelli raggiungibili in condizioni di massima piena valutati con i principi teorici dell'idraulica, assumendo garantita la stabilità delle opere di difesa esistenti salvi casi di evidenti carenze strutturali. La perimetrazione adottata riguarda le aree limitrofe ai principali corsi d'acqua individuati tenendo conto sia delle portate liquide che li attraversano sia delle criticità che li hanno interessati nel corso degli ultimi decenni. Il PSDA sottopone a revisione le perimetrazioni alla scala 1:25.000 per la rimozione delle situazioni di rischio idrogeologico elevato nell'ambito del bacino idrografico interregionale del fiume Sangro e dei bacini idrografici regionali, indagando quindi tutti i tratti fluviali interessati da portate significative e da passaggi significativi di onde di piena.

Nelle aree caratterizzate da una pericolosità elevata non è possibile eseguire la realizzazione di infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico a rete fatte salve le valutazioni dello studio di compatibilità idraulica.

E' importante specificare che in tutte le aree di pericolosità idraulica perimetrate dal PSDA sono istituite fasce fluviali di tutela integrale in cui sono stabiliti divieti assoluti di edificazione, nello specifico tali zone sono localizzate:

- lungo l'alveo dei corsi d'acqua non arginati, entro una fascia di 50 metri confine dell'area demaniale
- lungo l'alveo dei canali artificiali e dei corsi d'acqua arginati, entro una fascia di 25 metri

Di seguito verranno presentati gli interventi consentiti sulla base della classificazione dell'area di pericolosità.

Gli interventi consentiti nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata sono:

- le nuove infrastrutture a rete previste dagli strumenti di pianificazione territoriale, che siano dichiarate essenziali e non altrimenti localizzabili
- quelli basati su progetti che dimostrano l'esistenza della sicurezza idraulica o prevedono misure di messa in sicurezza da realizzare preventivamente o

contestualmente all'intervento e misure compensative di miglioramento del regime idraulico e riqualificazione fluviale.

Gli interventi consentiti nelle aree di pericolosità idraulica elevata sono:

- le opere e le attività consentite nelle aree di pericolosità idraulica elevata sono i medesimi stabiliti rispettivamente per l'area a pericolosità molto elevata

Gli interventi consentiti nelle aree di pericolosità idraulica media sono:

- le nuove costruzioni, le nuove infrastrutture ed attrezzature, i nuovi impianti previsti dagli strumenti urbanistici vigenti nelle zone territoriali omogenee di tipo D, E, F di cui al D.M.2.4.1968, n. 1444 compatibilmente con vincoli di tutela ambientale o paesistica
- la realizzazione e l'ampliamento di opere ed infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico.

Gli interventi consentiti nelle aree di pericolosità idraulica moderata, i quali sono demandati agli strumenti urbanistici ed ai piani di settore vigenti, sono:

- le nuove costruzioni, gli interventi sul patrimonio edilizio esistente, i mutamenti di destinazione d'uso, la realizzazione di nuovi impianti, opere ed infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico.

1.4.3 Studi di compatibilità idraulica

Per stimare la pericolosità idraulica di una specifica area nella quale si desidera eseguire una progettazione, si eseguono degli studi di compatibilità firmati da un tecnico abilitato, ai sensi della normativa vigente in materia, iscritto all'Albo professionale. Gli interventi da realizzarsi nelle aree di pericolosità idraulica nei casi previsti dalle Norme di Attuazione, sono corredati da uno studio di compatibilità idraulica in cui si dimostri la coerenza con quanto proposto dal Piano Stralcio Difesa Alluvioni e si dimostri, in particolare, che l'intervento sottoposto all'approvazione è stato progettato rispettando il vincolo di non aumentare il livello di pericolosità e di rischio esistente (fatto salvo quello eventuale intrinsecamente connesso all'intervento ammissibile) e di non precludere la possibilità di eliminare o ridurre le condizioni di pericolosità e rischio mediante azioni future.

L'obiettivo di tale studio è quello di valutare sia le variazioni sull'assetto idrologico e/o idraulico del corso d'acqua conseguenti alla realizzazione degli interventi in progetto,

sia di verificare le condizioni di sicurezza degli elementi che si prevede inserire nel territorio in aree a potenziale pericolo di alluvionamento.

Si desume che nessun progetto di intervento localizzato nelle aree di pericolosità idraulica P4, P3 e P2 possa essere approvato dalla competente autorità di livello regionale, provinciale o comunale senza la preventiva approvazione del connesso studio di compatibilità idraulica, se richiesto. Lo studio è presentato, insieme al progetto preliminare, a cura del soggetto pubblico o privato che propone l'intervento ed è approvato dalle autorità competenti.

Inoltre lo studio di compatibilità idraulica si aggiunge alle valutazioni di impatto ambientale, alle valutazioni di incidenza, agli studi di fattibilità, alle analisi costi-benefici ed agli altri atti istruttori di qualunque tipo richiesti dalle leggi dello Stato e della Regione Abruzzo.

Nel caso in cui si debbano realizzare interventi per i quali non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica, i progettisti garantiscono comunque che il progetto:

- verifichi le variazioni della risposta idrologica e della permeabilità delle aree interessate successivamente alla realizzazione degli interventi
- preveda opportune misure compensative, con particolare riguardo all'identificazione di aree alternative per l'infiltrazione delle acque o la realizzazione di nuovi volumi naturali di invaso.

Nel caso di interventi finalizzati alla costruzione di insediamenti residenziali o produttivi, di infrastrutture o di altre opere di pubblica utilità, lo studio di compatibilità idraulica si propone di:

- descrivere e valutare gli effetti idrologici ovvero la variazione della risposta idrologica del terreno in seguito alla trasformazione dell'area
- descrivere e valutare gli effetti idraulici ovvero la situazione di pericolosità idraulica sia dell'area in oggetto sia di quelle limitrofe al corso d'acqua nel tratto di valle
- suggerire prescrizioni costruttive o azioni compensative finalizzate a ridurre o eliminare l'impatto dell'intervento in progetto.

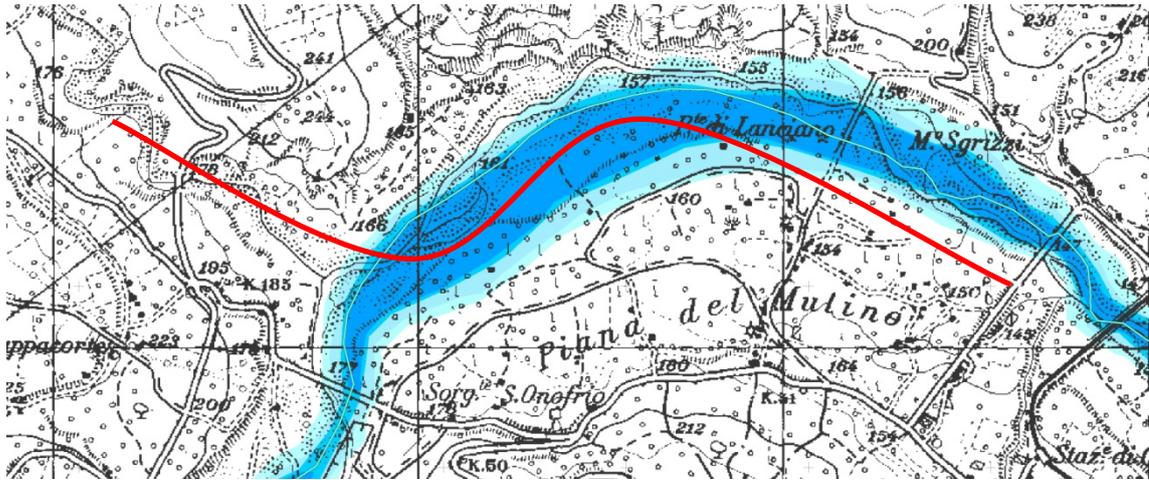
Nell'analisi del comportamento idraulico del corso d'acqua si dovranno mettere in evidenza le eventuali modificazioni apportate alla morfologia fluviale. In particolare si dovrà inquadrare la situazione di pericolosità idraulica attuale, riportando i risultati del

PSDA sia per quanto riguarda la stessa area oggetto di intervento, sia per le aree ubicate lungo il tratto di valle del corpo idrico che potrebbero subire le conseguenze degli interventi in progetto; evidenziare le eventuali sottrazioni al fiume di aree idonee all'espansione in caso di eventi eccezionali come quelli presi a riferimento nello studio allegato al PSDA; valutare le modificazioni sul regime idrometrico del corso d'acqua che potrebbe avere conseguenza sullo stato di sicurezza del territorio, modificando l'estensione o il livello delle aree aventi pericolosità idraulica.

Nelle elaborazioni svolte a sostegno dell'analisi sia idrologica che idraulica, si dovrà fare riferimento ai risultati ottenuti ed esposti nelle relazioni e cartografie allegate al PSDA, il quale fornisce in modo dettagliato l'entità delle precipitazioni e degli idrogrammi di piena attesi con frequenza assegnata, nelle varie sezioni critiche del reticolo idrografico.

<i>Stazione idrometrica</i>				<i>Portata massima [m³/s] per diversi tempi di ritorno</i>				
<i>Codice</i>	<i>Corso d'acqua</i>	<i>Comune</i>	<i>Quota [m s.m.m.]</i>	<i>20 anni</i>	<i>50 anni</i>	<i>100 anni</i>	<i>200 anni</i>	<i>500 anni</i>
AV01	Aventino	Casoli	169	370	497	592	689	814

Figura 8: Valori delle portate di progetto per gli interventi consentiti nelle aree a pericolosità idraulica



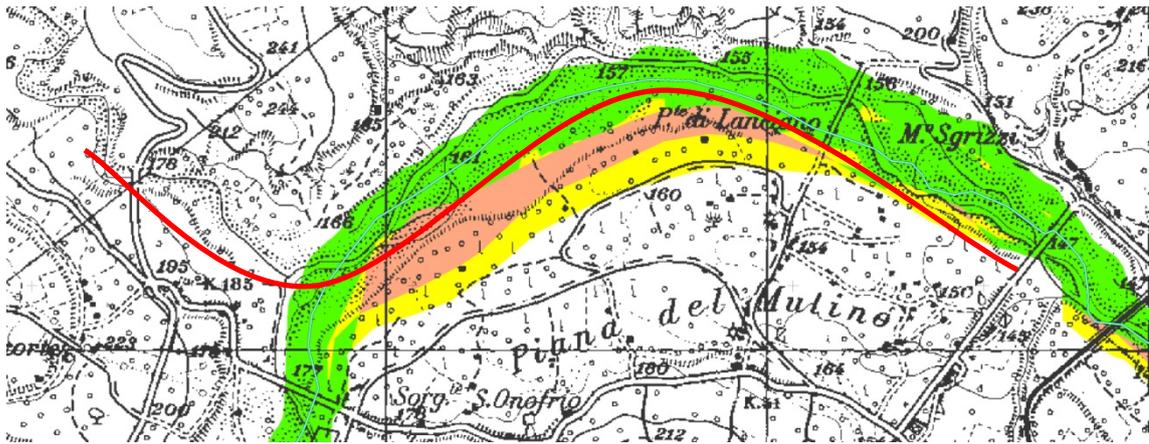
Classi di pericolosità idraulica [Q50 - Q100 - Q200] (*)

	Pericolosità molto elevata $h_{50} > 1\text{m}$ $v_{50} > 1\text{m/s}$	 Reticolo idrografico
	Pericolosità elevata $1\text{m} > h_{50} > 0.5\text{m}$ $h_{100} > 1\text{m}$ $v_{100} > 1\text{m/s}$	
	Pericolosità media $h_{100} > 0\text{m}$	
	Pericolosità moderata $h_{200} > 0\text{m}$	

Figura 9: Classi di pericolosità idraulica

Siccome il tracciato stradale attraversa e affianca il fiume Aventino, è trasversale a tutte le zone di pericolosità idraulica, quindi per essere conforme al PSDA occorre uno studio di compatibilità idraulica. Considerata la zona geografica in questione, onde evitare problemi di inondazioni, buona parte del tracciato è stato progettato come ponte.

Inoltre, essendo l'alveo non arginato in quel tratto, viene mantenuta una distanza minima di sicurezza di 50 metri.



Valutazione dei livelli di rischio idraulico		CLASSI DI PERICOLOSITA' IDRAULICA [Q50 - Q100 - Q200]*				
		MOLTO ELEVATA	ELEVATA	MEDIA	MODERATA	
		h50 > 1 m v50 > 1 m/s	1m > h50 > 0.5 m h100 > 1m v100 > 1m/s	h100 > 0m	h200 > 0m	
DANNO POTENZIALE	MOLTO ALTO	ZONE A, B, C, C1	R4	R4	R2	R2
	ALTO	ZONE D1, D2	R3	R3	R2	R1
	MODERATO	ZONE E, FA, FB, FD, FC, FC1, FC2	R2	R2	R1	R1
	BASSO	ZONE GOLENALI, DISABITATE ED IMPRODUTTIVE	R1	R1	R1	R1

(*) Pericolosità idraulica. Per ogni riga il verificarsi di almeno una delle condizioni riportate, in assenza delle condizioni delle righe immediatamente superiori, sancisce l'appartenenza alla classe di pericolosità idraulica

Figura 10: Il rischio idraulico

CAPITOLO SECONDO

Dall'anno 1990 l'indice di motorizzazione della Regione Abruzzo ha avuto un notevole incremento.

Infatti, tra gli anni 1990 e 2007 si è evidenziata una crescita di autovetture private circolanti pari all'1,66% annuo (1.061.931 vetture a fronte di 680.112, pari al +56,14 % nel periodo intero), con valore superiore a quello nazionale, il quale nello stesso periodo era pari al 2,02% (47.131.347 vetture a fronte di 33.555.118, pari a +40,46 % nel periodo intero). Tale incremento ha determinato lo scavalco dell'indice di motorizzazione abruzzese (n° vetture/abitante residente), il quale nell'anno 1990 era minore di quello medio nazionale (0,53 a fronte di 0,50), e successivamente nel 2007 ha mostrato valori più alti di quello medio nazionale (0,80 a fronte di 0,79).

2.1 STATO DELLE INFRASTRUTTURE ESISTENTI

La rete stradale della Regione Abruzzo si sviluppa per circa 9.991 km, comprendendo le autostrade, le strade statali, regionali, provinciali e le comunali dei capoluoghi di provincia.

Le principali direttrici infrastrutturali stradali sono costituite:

- in direzione Nord–Sud, dalle infrastrutture di corridoio adriatico, ovvero la A14 e la SS16, nonché nell'interno dalla Pedecollinare Abruzzo–Marche (SS 81) e l'appenninica abruzzese appulo-sannitica (SR ex SS 260 e SS 17) ed infine la superstrada del Liri
- in direzione Est–Ovest dalle autostrade A24–A25 nonché dalla Tiburtina Valeria (SR ex SS 5), dalla Fondovalle Sangro, (SS 652) e dalla Fondovalle Trigno (SS 650)

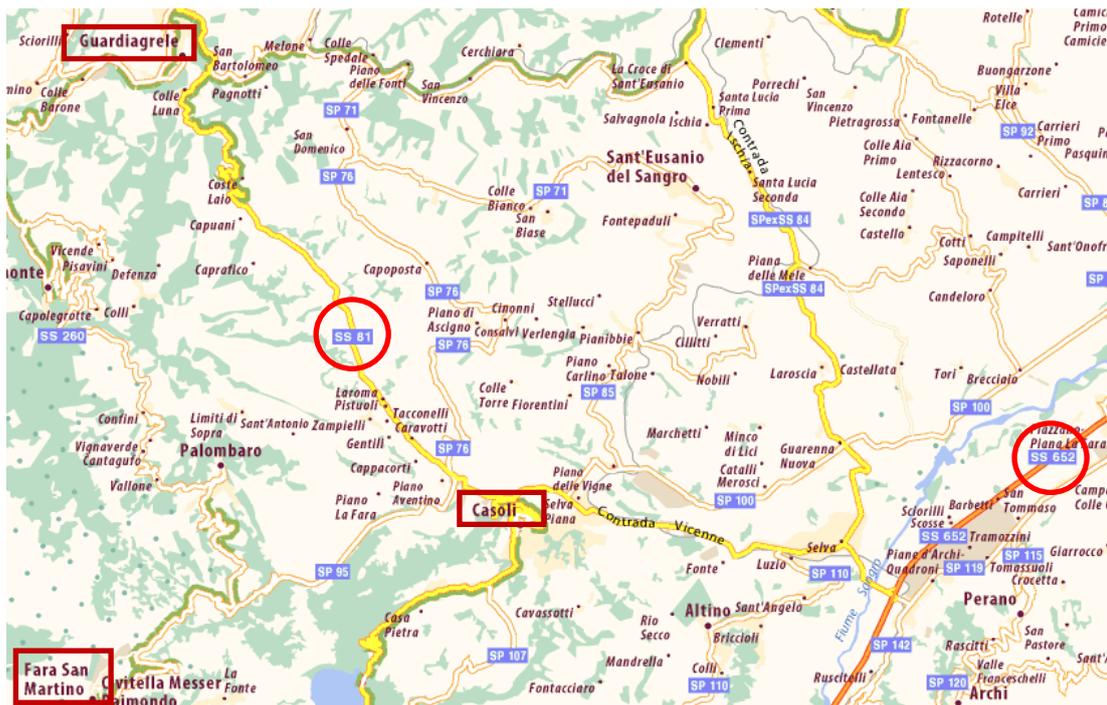


Figura 11: Mappa stradale

La SS 81 rappresenta una delle strade più lunghe della Regione, in quanto inizia il suo percorso dai confini con le Marche passando per Teramo, fino ad arrivare a Chieti. Numerose sono le infrastrutture di allaccio, tra le quali assume importanza primaria la SS 80 del raccordo di Teramo, la A24 direzione L'Aquila-Roma, la A25 e la SS 84 Frentana che a Casoli segna la fine della tratta. Durante il tracciato la SS81 presenta aspetti di particolare interesse, specie per quanto concerne il collegamento della SS 80, che permette di accedere alla zona industriale del teramano. I problemi che presenta l'infrastruttura, allo stato attuale, sono legati soprattutto alla tratta Teramo-Ascoli che per la tortuosità del percorso è causa di numerosi incidenti. Per questo sono in corso i lavori relativi al progetto di miglioramento del tracciato, anch'essi gestiti dall'ANAS.

2.2 INDAGINI DEL PIANO REGIONALE INTEGRATO DEI TRASPORTI (PRIT)

Sebbene la SS 81 non presenti prestazioni tali da determinare ingenti spostamenti di traffico su larga scala, la fluidificazione dell'itinerario interno che ne deriva contribuisce a migliorare l'accessibilità delle aree interne, ed è in questo senso perfettamente in linea con l'obiettivo prioritario del Piano Regionale Integrato dei

Trasporti (PRIT) di garantire equiaccessibilità su tutto il territorio regionale. Il PRIT corrisponde al principale strumento di pianificazione con cui la Regione stabilisce indirizzi e direttive per le politiche regionali sulla mobilità, e fissa i principali interventi e le azioni prioritarie da perseguire nei diversi ambiti di intervento. Nello specifico l'impatto degli interventi in esame è riscontrabile sulla bassa Val di Sangro, evidenziata in sede di analisi come una delle aree maggiormente critiche in termini di accessibilità.

Facendo riferimento a Marzo 2006, la SS 81 Piceno-Aprutina era assimilabile, per caratteristiche geometriche, ad una strada di tipo F1 extraurbana locale, per la quale la portata di servizio, secondo le nuove "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" (emanate con D.M. 5 novembre 2001), era pari a 450 autoveicoli equivalenti/ora per corsia.

Nelle indagini svolte si sono effettuate simulazioni sull'evoluzione della domanda di traffico sull'arteria, con tre possibili scenari realizzabili:

- il primo prevedeva la situazione di non intervento sulla Statale in questione. In tal caso, data la prosecuzione dell'attuale dinamica della domanda, in assenza di una valida alternativa al collegamento longitudinale, la simulazione dimostrava già nel successivo 2010, che in quel tratto si sarebbe superato abbondantemente la portata massima di servizio
- il secondo scenario ipotizzava degli interventi già previsti, in quanto considerava i lavori di adeguamento che l'ANAS aveva in previsione di realizzare sulla SS 81 nel tratto in questione (completati successivamente nel 2010). I lavori prevedevano un adeguamento della struttura alla tipologia C1 di strada extraurbana secondaria, la cui portata massima di servizio per corsia è pari a 600 autoveicoli equivalenti/ora. In questo caso, con il tasso di crescita della domanda del periodo considerato, in assenza di una adeguata alternativa infrastrutturale, le simulazioni consentivano di verificare che il potenziamento dell'infrastruttura nei termini previsti, avrebbe sortito il solo l'effetto di caricare ulteriormente la viabilità esistente, rendendola già insufficiente al 2010, ovvero contestualmente alla fine dei lavori
- la terza possibilità ipotizzava un doppio intervento, vale a dire l'adeguamento della SS 81 previsto dall'ANAS e la realizzazione, entro il 2020, della

Pedemontana Abruzzo-Marche. In questo caso, le simulazioni avevano dimostrato che la statale si sarebbe scaricata, a vantaggio del livello di servizio, di una notevole componente di traffico assorbita dalla nuova infrastruttura.

Pertanto la nuova infrastruttura, opportunamente relazionata alla SS 81 con dei collegamenti a pettine, avrebbe dovuto sopperire alle carenze di quest'ultima, per la quale erano comunque previsti interventi di adeguamento in sede, dove possibile, e di messa in sicurezza, e di realizzazione della funzione di grande arteria di collegamento longitudinale sia verso le Marche che il Molise, venendo così ad inserirsi nella rete di primo livello Regionale.

Si desume che gli obiettivi dell'intervento sarebbero stati: soddisfare una domanda di mobilità di persone e merci; migliorare la sicurezza della circolazione la quale a sua volta consentirebbe un significativo risparmio sul costo del trasporto delle PMI (piccole e medie imprese), la fluidità del traffico infatti al contempo migliorerebbe anche l'accessibilità dei distretti produttivi della Val Vibrata, del Tordino e della Val Vomano, che rivestono un'elevata importanza per realtà territoriali di piccole dimensioni come quelle interessate dall'intervento in esame, garantire collegamenti adeguati tra poli produttivi di generazione ed attrazione della mobilità.

Il miglioramento della qualità delle infrastrutture indurrà benefici economici rilevanti in termini di maggiore appetibilità delle aree per insediamenti produttivi, che influenzeranno positivamente lo sviluppo economico e la crescita del mercato del lavoro e dell'occupazione nell'area del progetto proposto.

2.2.1 Studio della mobilità stradale

Allo scopo di comprendere e valutare l'interazione domanda-offerta si sono eseguiti due differenti studi su rete regionale: il primo ha rispecchiato una situazione reale risalente al 2001, il secondo rispecchia una possibile previsione compiuta nel 2003 riguardante il possibile movimento veicolare che si sarebbe potuto verificare nel 2010 e nel 2020.

Di seguito si esplicita il movimento dei veicoli leggeri e pesanti prendendo in considerazione due fasce orarie:

- Fascia bioraria di punta del mattino (8:00 – 10:00)
- Fascia diurna (7:00 – 20:00)

Le simulazioni relative alla fascia bioraria hanno assolto la finalità di analizzare i livelli di servizio della rete, con particolare riferimento agli accessi/uscite in ambito urbano, mentre le simulazioni diurne hanno riportato un'indicazione sui flussi di veicoli leggeri e pesanti complessivamente in gioco e sulla relativa distribuzione.

Per ottenere i dati necessari sono state impiegate le seguenti banche dati:

- le matrici casello-casello di veicoli leggeri e pesanti riferite al traffico annuale 2001, fornite da Società Autostrade, per definire il traffico autostradale di attraversamento della Regione
- i risultati delle indagini cordonali sulla viabilità ordinaria e ai caselli autostradali, per ricostruire il traffico interno e di scambio
- la matrice ISTAT 1991, per determinare il traffico residuale di veicoli leggeri tra realtà minori sfuggito alla campagna di indagine
- i rilievi di flusso effettuati in occasione del presente studio, utilizzati per ricalibrare le matrici sulle fasce orarie prese a riferimento.

Di seguito sono presentate le analisi relativamente all'anno 2001:

- lo studio della rete stradale principale nella fascia di punta evidenzia che i soli elementi della rete regionale sono quelli con carichi superiori a 400 veic/fascia bioraria/direzione. Si tratta complessivamente di 69.488 veicoli leggeri (91,1% del totale).

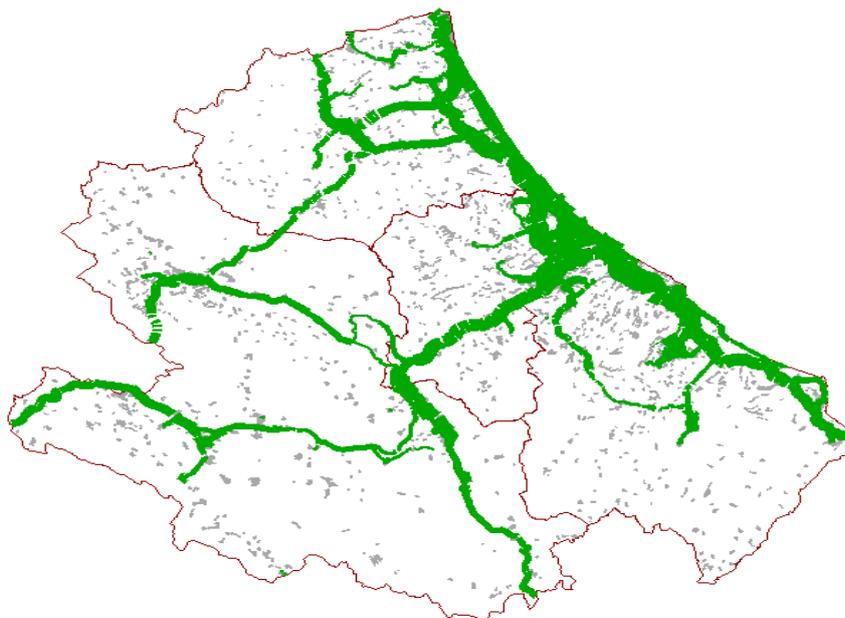
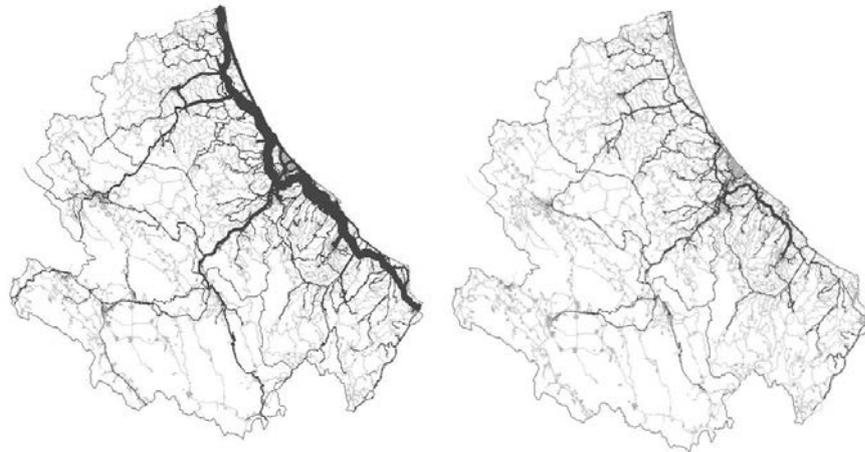


Figura 12: Elementi della rete con flussi superiori a 400 veic/direzione

- le strade che presentano flussi maggiori all'interno del territorio regionale sono le autostrade A14, A24 e A25, le statali SS 16, SS 17 e SS 81 e la SR 5.



Spostamenti sulla A14

Fascia di punta: 9.678 veicoli leggeri

Fascia diurna: 58.908 veicoli leggeri

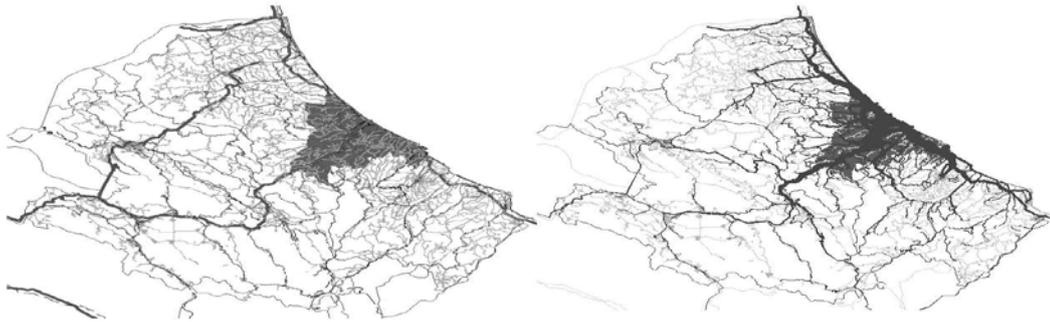
Spostamenti impropri sulla A14 (che non interessano la fascia costiera):

Fascia di punta: 1.528 veicoli leggeri

Fascia diurna: 9.412 veicoli leggeri

Figura 13: Movimento veicolare sulla A14

- relativamente alla fascia diurna, gli stessi elementi di rete si ottengono imponendo una soglia di carico pari a 1800 veic/fascia diurna/direzione. Nello specifico il traffico di veicoli leggeri che li attraversa ammonta a 437.141 (93,3% del totale)



Estensione area: circa 770 km² (su un'area complessiva della Regione di circa 10.800 km²)

Estensione rete stradale:

autostrada – 87 km
strade statali – 118 km
strade regionali - 137 km

Fascia di punta

Veicoli leggeri che interessano l'area metropolitana: 29.626, di cui:

traffico interno (escluso intracomunale):

16.496

traffico di scambio: 13.130

Veicoli leggeri in attraversamento dell'area metropolitana: 1.634

Fascia diurna

Veicoli leggeri che interessano l'area metropolitana: 102.105, di cui:

traffico interno (escluso intracomunale):

101.370

traffico di scambio: 80.735

Veicoli leggeri in attraversamento dell'area metropolitana: 9.887

Figura 14: Movimento veicolare dell'area metropolitana

In seguito è stato analizzato il movimento veicolare risalente al 2003; in quest'ultimo periodo è stata eseguita, inoltre, una possibile previsione del movimento veicolare verificabile nel successivo 2010 e 2020 ottenendo i seguenti risultati.

Rispetto alla fascia oraria 8-10:

- gli spostamenti totali dei veicoli leggeri, in ambito regionale, nelle due ore di punta, ammontano a 76.294 veicoli, nell'anno di rilevamento (2003), che vengono stimati all'anno 2010 pari a 84.330 ed all'anno 2020 pari a 96.461 veicoli, con un incremento annuo del 1,50 %
- il movimento veicolare pesante in ambito regionale, nelle due ore di punta, ammonta a 7.819 veicoli, nell'anno di rilevamento (2003), che vengono stimati all'anno 2010 pari a 9.696 ed all'anno 2020 pari a 11.588 veicoli, un incremento annuo del 3,10 %.

Differentemente rispetto alla fascia diurna 7-20:

- gli spostamenti totali dei veicoli leggeri, in ambito regionale, per la fascia oraria assimilabile all'intera giornata, ammontano a 468.544 veicoli,

nell'anno di rilevamento (2003), che vengono stimati all'anno 2010 pari a 511.963 ed all'anno 2020 pari a 579.083 veicoli, con un incremento annuo del 1,35 %

- gli spostamenti totali, in ambito regionale, per la fascia oraria assimilabile all'intera giornata, ammontano a 63.522 veicoli, nell'anno di rilevamento (2003), che vengono stimati all'anno 2010 pari a 76.705 ed all'anno 2020 pari a 90.279 veicoli, con un incremento annuo del 3,10 %.

CAPITOLO TERZO

La prima fase della progettazione ha riguardato una rielaborazione di una bozza di progetto esistente, la quale faceva confluire la Pedemontana sulla SS 81 nella zona di Piano Aventino con la predisposizione di una rotatoria. Diversamente si è scelto di dare continuità alla stessa realizzandola parallela al fiume Aventino, arrivando nella zona di Selva Piana nei pressi della zona industriale Ovest di Casoli.

La seconda fase, verrà presentata nel successivo capitolo.

3.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per la progettazione si fa riferimento al:

- “Codice della Strada e Regolamento Attuativo (D.Lgs. 30 Aprile 1992 n. 285 aggiornato con il D.Lgs. 10 Settembre 1993 n. 360 e con il D.M. 4 Gennaio 1995)”
- “D.M. 5 Novembre 2011: Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”
- “D.M. delle Infrastrutture e dei Trasporti del 19 Aprile 2006: Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali”
- “D.M. 21 Giugno 2001 n. 2367: Istruzioni tecniche per la progettazione, l’omologazione e l’impiego dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali” che aggiorna il “D.M. n 223 18 Febbraio 1992: Barriere di sicurezza stradale”.

Di seguito verranno presentati i dati della normativa vigente associati a quelli ottenuti dalla progettazione da me eseguita.

3.2 ANDAMENTO PLANIMETRICO DELL’ASSE

La nuova infrastruttura è classificata come strada di categoria C1 extraurbana secondaria, costituita da un’unica carreggiata di larghezza pari a 10,50 m con due corsie, una per senso di marcia, larghe 3,75 m ed una banchina pavimentata di 1,50 m su ogni lato della strada. La velocità di progetto prevista è compresa tra 60 e 100 Km/h.

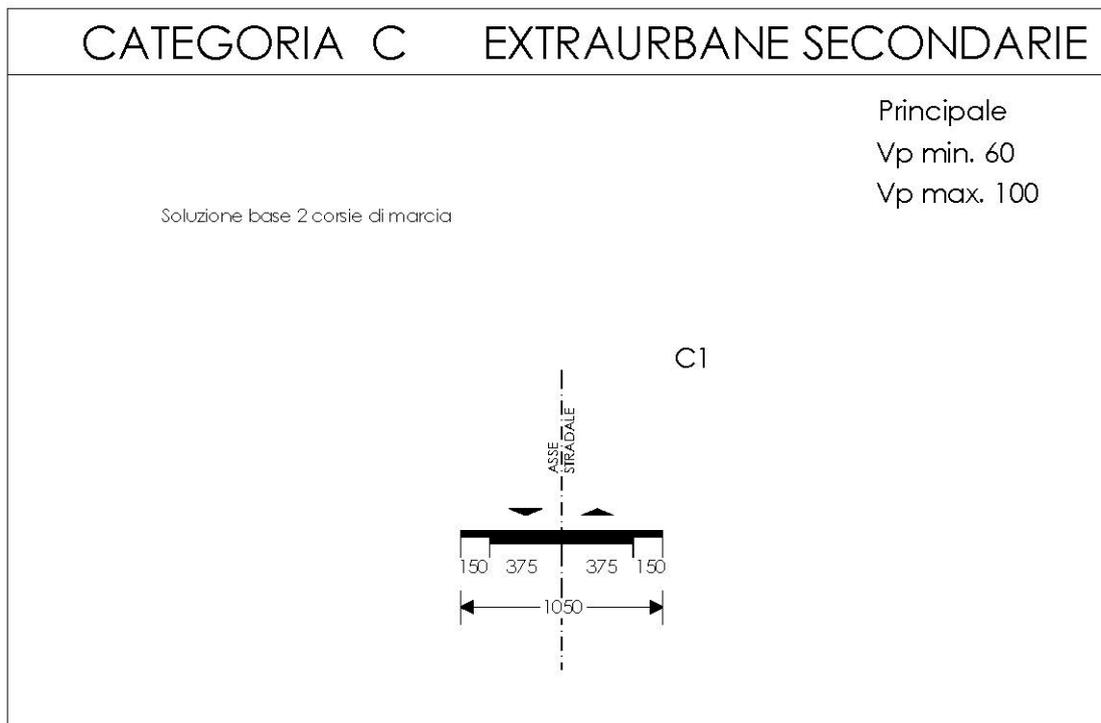


Figura 15: Caratteristiche geometriche di strada tipo C extraurbana

3.2.1 Rettifili

Per evitare il superamento delle velocità consentite, la monotonia, la difficile valutazione delle distanze e per ridurre l'abbagliamento nella guida notturna è opportuno che i rettifili abbiano una lunghezza L_{rmax} contenuta nel seguente limite:

$$L_{rmax} = 22 \times V_{pmax}$$

$$L_{rmax} = 22 \times 100 \text{ Km/h} = 2200 \text{ m}$$

dove V_{pmax} è il limite superiore dell'intervallo di velocità di progetto della strada in Km/h.

Un rettifilo, per poter esser percepito come tale dall'utente, deve avere una lunghezza non inferiore ai valori riportati nella seguente tabella, dove per velocità si intende la massima desunta dal diagramma di velocità per il rettifilo considerato.

Velocità [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Lunghezza min [m]	30	40	50	65	90	115	150	190	250	300	360

Tabella 5: Lunghezza minima dei rettifili in funzione della velocità di progetto

$$L_{\min} = 150 \text{ m.}$$

La lunghezza planimetrica dell'asse stradale è la seguente:

Elemento	Lunghezza [m]
Rettifilo 1	71,39
Clotoide 1	111,56
Arco 1	1200,17
Clotoide 2	111,56
Rettifilo 2	462,68
Clotoide 3	64,08
Arco 2	367,25
Clotoide 4	64,08
Rettifilo 3	692,71
Tracciato	3145,47

Tabella 6: Lunghezza degli elementi del tracciato

L'unico tratto di strada che sembra non rispettare la $L_{\min} = 150 \text{ m}$ è il Rettifilo 1, poiché il progetto in questione continua da un tratto di strada precedentemente progettato, con un rettifilo ben più lungo.

3.2.2 Curve circolari

Una curva circolare, per essere correttamente percepita, deve avere uno sviluppo corrispondente ad un tempo di percorrenza di almeno 2,5 secondi valutato con riferimento alla velocità di progetto della curva.

$$S_{v\min} = V_{(m/s)} \times 2,5 \text{ s}$$

$$S_{v\min} = \left(\frac{100}{3,6}\right) \times 2,5 = 69,444 \text{ m}$$

I rapporti tra i raggi R_1 e R_2 di due curve circolari che, con l'inserimento di un elemento a curvatura variabile, si succedono lungo il tracciato di strade di tipo A, B, C, D, E, F extraurbane sono regolati dall'abaco riportato dalla Figura 16. In particolare, per le strade di tipo A e B detto rapporto deve collocarsi nella "zona buona"; per le strade degli altri tipi è utilizzabili anche la "zona accettabile".

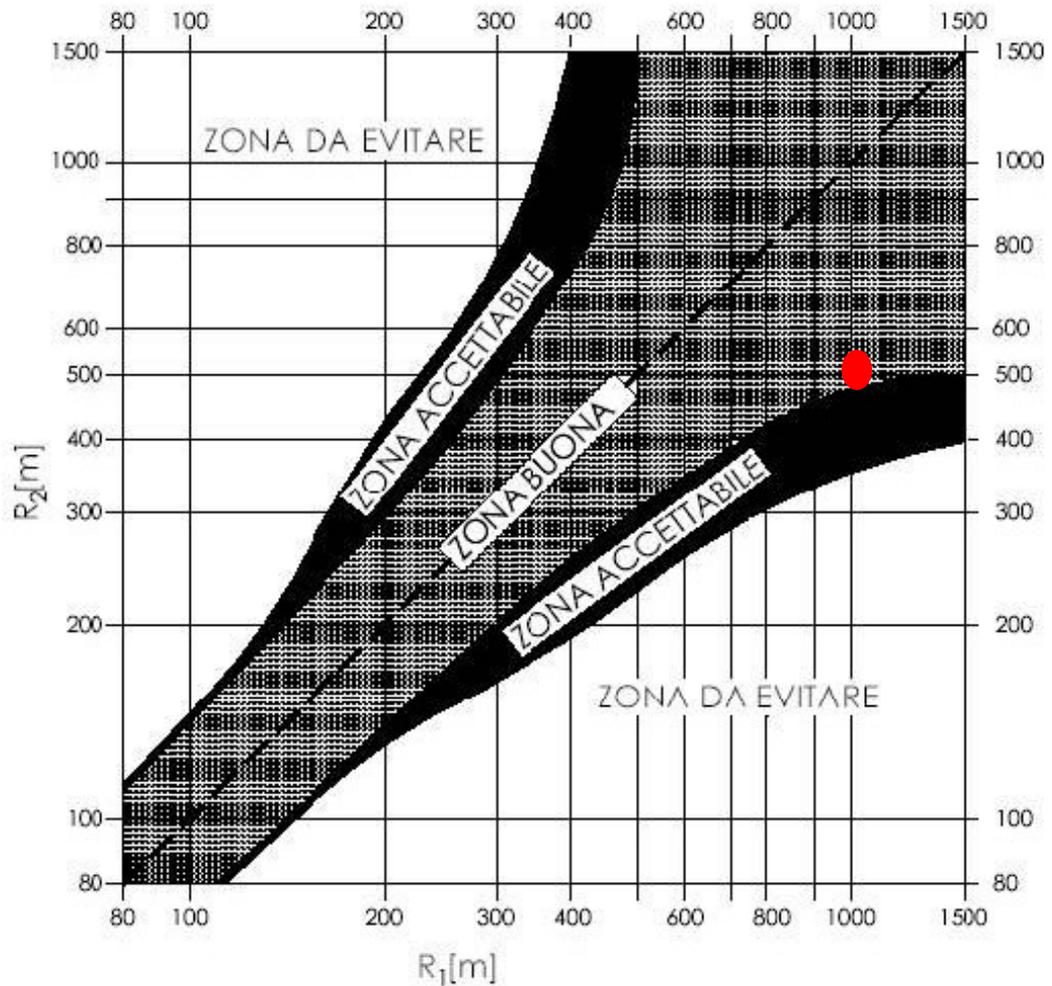


Figura 16: Rapporti tra i raggi R1 e R2 di due curve circolari

Tra un rettilo di lunghezza L_r ed il raggio più piccolo fra quelli delle due curve collegate al rettilo stesso, anche con l'interposizione di una curva a raggio variabile, deve essere rispettata la relazione:

$$R > L_r \text{ per } L_r < 300 \text{ m}$$

$$R \geq 400 \text{ m per } L_r \geq 300 \text{ m}$$

Il tracciato presenta rispettivamente una prima curva di $R = 500 \text{ m}$ e un rettilo di $462,68 \text{ m}$ e una seconda curva di 1000 m e un rettilo di $692,71 \text{ m}$, ne consegue che esso si colloca nella "zona buona" e che viene rispettata la seconda condizione sopra descritta.

3.2.3 Pendenze trasversali

La pendenza trasversale in un rettifilo nasce dall'esigenza di allontanamento dell'acqua superficiale. A seconda del tipo di strada si adottano le sistemazioni di cui alla Tabella 7.

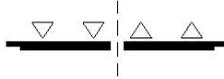
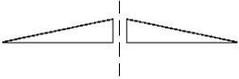
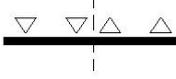
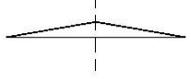
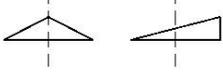
STRADE TIPO	PIATTAFORMA	PENDENZE TRASVERSALI
A, B, D a due o più corsie per carreggiata		
E a quattro corsie		
altre strade		

Tabella 7: Pendenza trasversale in rettifilo

Indipendentemente dal tipo di strada, la pendenza minima delle falde della carreggiata, i_c , è del 2,5% ($q = 0,025$).

In curva la carreggiata inclinata verso l'interno e la pendenza trasversale è la stessa su tutta la lunghezza dell'arco di cerchio. La pendenza massima vale 7% ($q = 0,07$) per le strade di tipo A (urbane ed extraurbane) tipo B, C, F extraurbane e strade di servizio extraurbane.

Per la determinazione della pendenza in funzione del raggio è indispensabile stabilire il legame tra la velocità di progetto V_p , la pendenza trasversale in curva i_c e la quota parte del coefficiente di aderenza impegnato trasversalmente f_t . Dallo studio dell'equilibrio di un veicolo transitante su una curva circolare si ottiene:

$$\frac{V_p^2}{R \times 127} = f_t + q$$

dove:

V_p = velocità di progetto della curva [km/h]

R = raggio della curva [m]

$$q = \frac{i_c}{100}$$

f_t = quota parte del coefficiente di aderenza impegnato trasversalmente.

Il coefficiente di aderenza trasversale è ottenuto sulla base di prove sperimentali; la normativa lo lega alla velocità di percorrenza con la Tabella 8:

Velocità km/h	25	40	60	80	100	120	140
aderenza trasv. max imp. $f_{t \max}$ per strade tipo A, B, C, F extra urbane, e relative strade di servizio	-	0,21	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09
aderenza trasv. max imp. $f_{t \max}$ per strade tipo D, E, F urbane, e relative strade di servizio	0,22	0,21	0,20	0,16	-	-	-

Tabella 8: Coefficiente di aderenza trasversale in funzione della velocità di percorrenza

Per velocità intermedie fra quelle indicate si provvede all'interpolazione lineare.

Per una strada di assegnato intervallo di velocità di progetto, il raggio minimo R_{\min} è quello calcolato con l'espressione sopra citata e con la velocità al limite inferiore dell'intervallo di progetto per una pendenza trasversale pari alla q_{\max} , nonché per un impegno di aderenza trasversale paria $f_{t\max}$. Si vedano i valori nella seguente Tabella 9:

TIPI SECONDO IL CODICE	AMBITO TERRITORIALE	DENOMINAZIONE	V_p min [km/h]	q_{\max}	$f_{t \max}$	Raggio minimo [m]
AUTOSTRADA A	EXTRAURBANO	STRADA PRINCIPALE	90	0,07	0,118	339
		STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	40	0,07	0,210	45
	URBANO	STRADA PRINCIPALE	80	0,07	0,130	252
		STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	40	0,035	0,210	51
EXTRAURBANA PRINCIPALE B	EXTRAURBANO	STRADA PRINCIPALE	70	0,07	0,147	178
		STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	40	0,07	0,210	45
EXTRAURBANA SECONDARIA C	EXTRAURBANO		60	0,07	0,170	118
URBANA DI SCORRIMENTO D	URBANO	STRADA PRINCIPALE	50	0,05	0,205	77
		STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	25	0,035	0,220	19
URBANA DI QUARTIERE E	URBANO		40	0,035	0,210	51
LOCALE F	EXTRAURBANO		40	0,07	0,210	45
	URBANO		25	0,035	0,220	19

Tabella 9: Raggio minimo della curva circolare in funzione del tipo di strada

Per raggi maggiori di R_{\min} si utilizzano gli abachi di cui alla Figura 17, procedendo nel modo di seguito riportato.

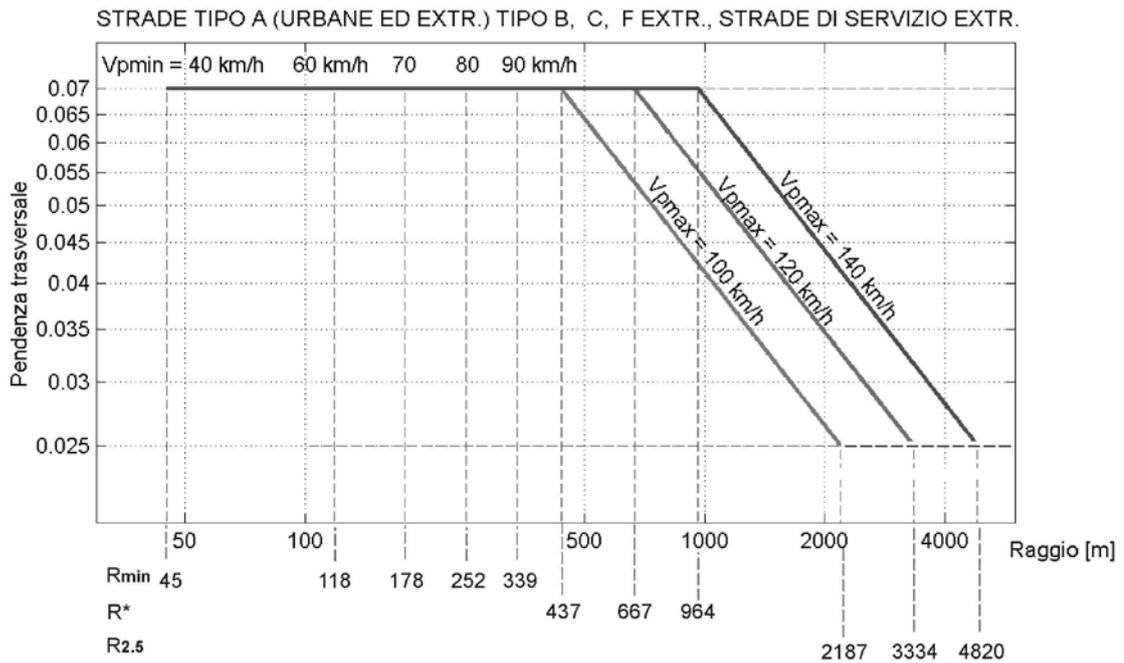


Figura 17: Pendenza trasversale in funzione del raggio e della V_{pmax}

Finché il raggio è minore di quello R^* , calcolato con l'espressione citata all'inizio del paragrafo per la velocità V_{max} di progetto, per la pendenza i_{max} e per f_{tmax} , la pendenza trasversale dovrà essere mantenuta costante e pari al valore massimo. In tale campo, cioè per $R_{min} \leq R \leq R^*$, la velocità di progetto V_p è data dall'espressione già citata, sempre con $f_{tmax}(V_p)$.

Per strade soggette a frequente innevamento, la pendenza trasversale va limitata al 6%, di conseguenza il raggio minimo utilizzabile è quello che corrisponde negli abachi a tale valore.

Nel tratto di territorio in esame non sono presenti casi di innevamento frequente essendo ad una quota che va dai 140 m ai 190 m.

Dalla formula generale si ricava:

$$R_{min} = \frac{V_p^2}{127 \times (q + f_t)}$$

$$R_{min} = \frac{100^2}{127 \times (0,07 + 0,11)} = 437,45 \text{ m}$$

La pendenza geodetica J risultante dalla combinazione della pendenza trasversale i_c e di quella longitudinale i_l , pari a

$$J = \sqrt{i_l^2 + i_c^2}$$

non deve superare il valore del 10% per le strade di tipo A e B e del 12% per le altre.
 Nel caso in esame il punto più sfavorevole ha una pendenza geodetica

$$J = \sqrt{7^2 + 3,36^2} = 7,76 \%$$

ben inferiore al 12 % imposto dalla normativa.

3.2.4 Curve a raggio variabile

La curva a raggio variabile da impiegarsi è la clotoide, che è una particolare curva della famiglia delle spirali generalizzate definite dalla seguente equazione:

$$r \times s^n = A^{n+1}$$

dove:

r = raggio di curvatura nel punto P generico

s = ascissa curvilinea nel punto P generico

A = parametro di scala

n = parametro di forma, regola la variazione della curvatura $1/r$ e dove per $n = 1$, si ottiene l'equazione della clotoide (Figura 18):

$$r \times s = A^2$$

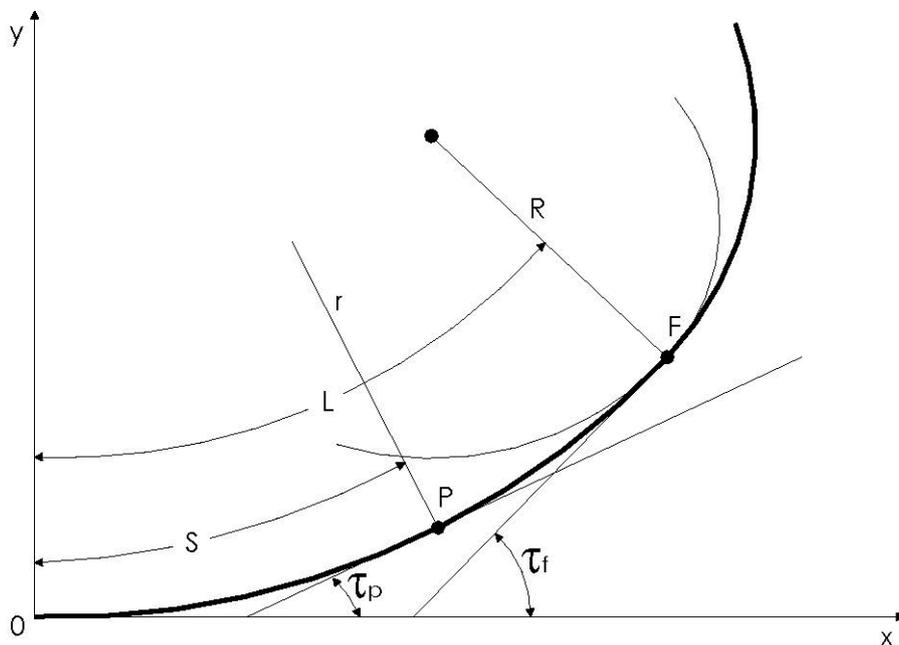


Figura 18: Costruzione geometrica della clotoide

dove:

F = punto finale della clotoide

R (m) = raggio dell'arco di cerchio da raccordare

L (m) = lunghezza dell'arco di clotoide

τ_p = angolo di deviazione nel generico punto P

τ_p = angolo di deviazione nel punto di fine della clotoide.

3.2.5 Verifica del parametro di scala

Criterio 1 (Limitazione del contraccolpo)

Affinché lungo un arco di clotoide si abbia una graduale variazione dell'accelerazione trasversale non compensata nel tempo (contraccolpo c), fra il parametro A e la massima velocità V (Km/h) desunta dal diagramma di velocità, per l'elemento di clotoide deve essere verificata la relazione:

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{V^2}{c} - \frac{g V R (q_f - q_i)}{c}}$$

dove:

$q_i = \frac{i_{ci}}{100}$, con i_{ci} = pendenza trasversale nel punto iniziale della clotoide

$q_f = \frac{i_{cf}}{100}$, con i_{cf} = pendenza trasversale nel punto finale della clotoide

V = velocità massima in rettilineo.

Nel caso in esame:

$$A_{\min 1} = 134,90$$

$$A_{\min 2} = 174,20$$

Criterio 2 (Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata)

Nelle sezioni di estremità di un arco di clotoide, la carreggiata stradale percorre differenti assetti trasversali, che vanno raccordati longitudinalmente, introducendo una sovrappendenza nelle linee di estremità della carreggiata rispetto alla pendenza dell'asse di rotazione.

Nel caso in cui il raggio iniziale sia di valore infinito (rettilineo o punto di flesso), il parametro deve verificare la seguente disuguaglianza:

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{R}{\Delta i_{\max}} * 100 * B_i * (q_i + q_f)}$$

dove:

B_i = distanze fra l'asse di rotazione ed il ciglio della carreggiata nella sezione iniziale della curva a raggio variabile (3,75 m)

R = raggio imposto in relazione alla velocità

q_i = pendenza trasversale nel punto iniziale della clotoide (0,025)

q_f = pendenza trasversale nel punto finale della clotoide (0,07)

Δi_{max} (%) = sovrappendenza longitudinale massima della linea costituita dai punti che distano B_i dall'asse di rotazione.

$$\Delta i_{max} = 18 \times \left(\frac{B_i}{V_{rett}} \right) \%$$

$$\Delta i_{max} = 18 \times \left(\frac{3,75}{100} \right) = 0,675 \%$$

$$A_{min1} = \sqrt{\frac{1000}{0,675} \times 100 \times 3,75 \times (0,025 + 0,07)} = 229,73$$

$$A_{min2} = \sqrt{\frac{500}{0,675} \times 100 \times 3,75 \times (0,025 + 0,07)} = 162,44$$

Criterio 3 (Ottico)

Per garantire la percezione ottica del raccordo deve essere verificata la relazione

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

$$333,33 \leq A_1 \leq 1000$$

$$166,67 \leq A_2 \leq 500$$

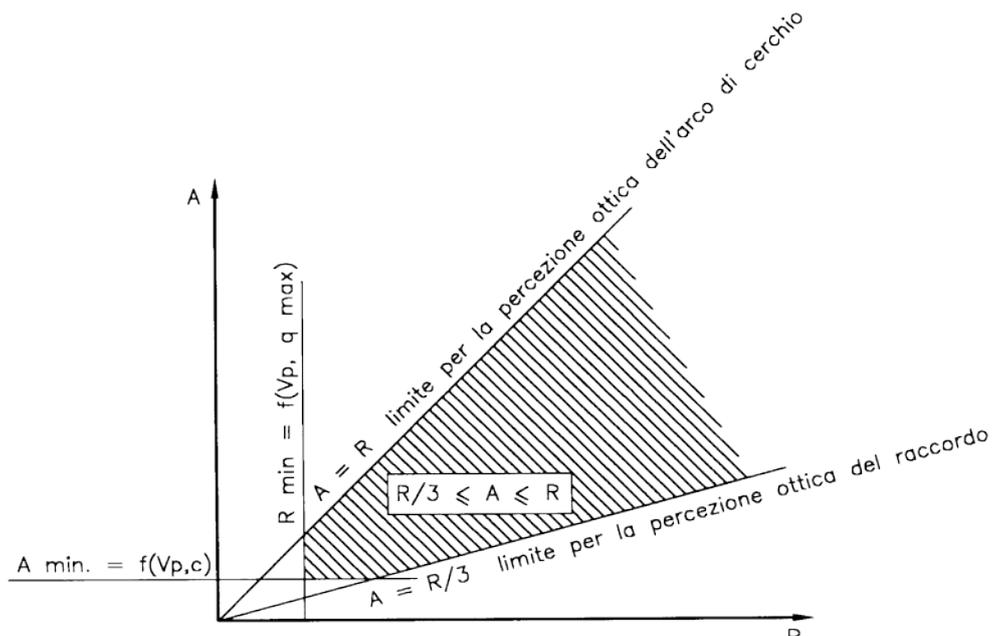
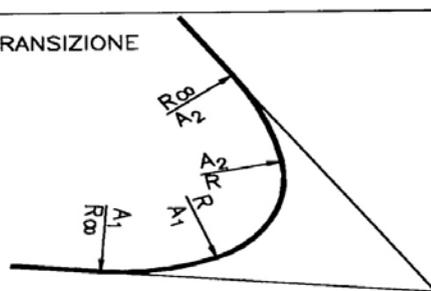
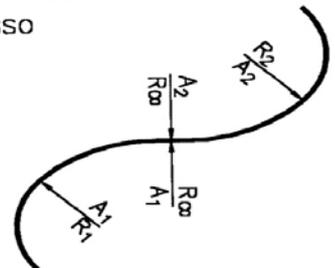
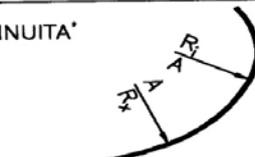
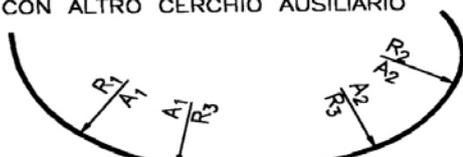


Figura 19: Campo di utilizzazione dei raccordi di clotoide

I casi più importanti nei quali la clotoide viene inserita in un tracciato sono riassunti nella Tabella 10, dove sono indicate le limitazioni per i valori dei parametri e sono anche indicate le situazioni da evitare.

TIPOLOGIA	LIMITI
	$A_1 \geq A_{min}$ $A_2 \geq A_{min}$ $\frac{R}{3} \leq A_1 \leq R$ $\frac{R}{3} \leq A_2 \leq R$ $\frac{2}{3} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{3}{2}$
	$R_2 < R_1$ $A_1 \geq A_{min}$ $A_2 \geq A_{min}$ FLESSO ASIMMETRICO $A_1 \neq A_2$ $\frac{R_1}{3} \leq A_1 \leq R_1$ $\frac{R_2}{3} \leq A_2 \leq R_2$ $\frac{2}{3} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{3}{2}$ FLESSO SIMMETRICO $A_1 = A_2 = A$ $\frac{R_1}{3} \leq A \leq R_2$
	$R_x < R_i$ R_x all'interno di R_i ma non concentrico $A_{min} \leq A$ $\frac{R_i}{3} \leq A \leq R_x$
	$A_1 \geq A_{min}$ $A_2 \geq A_{min}$ $\frac{R_3}{3} \leq A_1 \leq R_1$ $\frac{R_3}{3} \leq A_2 \leq R_2$ $\frac{2}{3} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{3}{2}$

CASI DA EVITARE		
		
TRANSIZIONE SENZA IL CERCHIO	FALSO OVALE	PIU' CURVE DI RACCORDO CONSECUTIVE

Tabella 10: Tipologia e casi da evitare per le clotoidi

Il tracciato presenta due curve di transizione con parametro di scala

$$A_1 = A_2 = 334,00$$

$$A_3 = A_4 = 179,00$$

rispettando le condizioni sopra descritte.

3.2.6 Pendenze trasversali nelle curve a raggio variabile

Lungo le curve a raggio variabile, inserite fra due elementi di tracciato a curvatura costante, si realizza il graduale passaggio della pendenza trasversale dal valore proprio di un elemento a quello relativo al successivo. Questo passaggio si ottiene facendo ruotare la carreggiata stradale, o parte di essa, secondo i casi, intorno al suo asse ovvero intorno alla sua estremità interna. La rotazione intorno all'asse è generalmente da preferire, ove possibile, perché comporta un minor sollevamento dell'estremità della piattaforma: essa può essere generalmente adottata nelle strade a carreggiata unica a 2 o più corsie e nelle strade a carreggiate separate con spartitraffico di larghezza superiore ai 4 m.

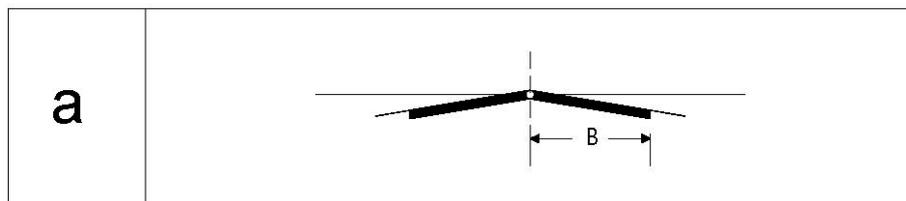


Figura 20: Pendenze trasversali nelle curve a raggio variabile

Nelle strade di tipo C1 ad un'unica carreggiata, la cui sagoma in rettilineo è a doppia falda, il passaggio dalla sagoma propria del rettilineo a quella della curva circolare avviene generalmente in due tempi: in una prima fase ruota soltanto la falda esterna intorno all'asse della carreggiata fino a realizzare una superficie piana, successivamente ruota l'intera carreggiata (Figura 21).

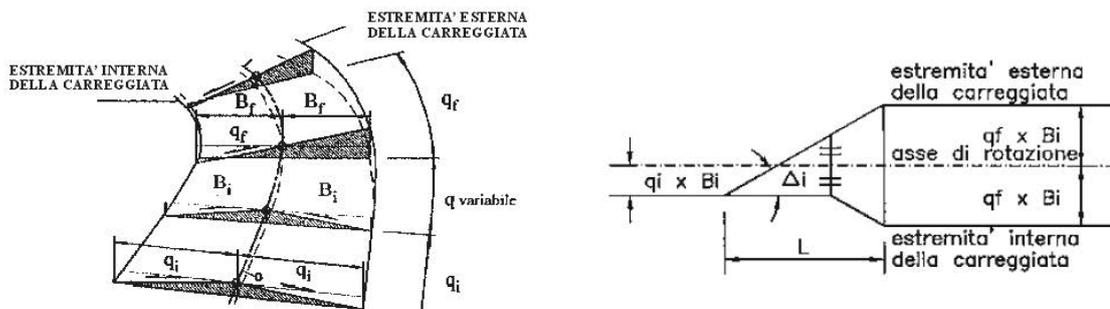


Figura 21: Schema delle pendenze trasversali nelle curve a raggio variabile

In curva le banchine, le corsie d'emergenza, le corsie specializzate o le piazzole di sosta presentano pendenza uguale e concorde con quello della carreggiata.

3.2.7 Valori massimi e minimi della pendenza Δi

Per limitare la velocità di rotazione trasversale dei veicoli, la sovrappendenza longitudinale massima Δi [%] delle estremità della carreggiata (esclusi gli eventuali allargamenti in curva) non può superare il valore massimo che si calcola con la seguente espressione:

$$\Delta i_{\max} = \frac{dq}{dt} \times \frac{B_i}{v} \times 100 = 18 \times \frac{B_i}{V} \text{ [%]}$$
$$\Delta i_{\max} = 18 \times \frac{3,75}{100} = 0,675 \text{ %}$$

dove:

$\frac{dq}{dt}$ = variazione della pendenza trasversale nel tempo pari a $0,05 \text{ rad. s}^{-1}$

B_i = distanza fra l'asse di rotazione e l'estremità della carreggiata all'inizio della curva a raggio variabile [m]

V = velocità di progetto [km/h]

v = velocità di progetto [m/s].

Quando lungo una curva a raggio variabile la pendenza trasversale della carreggiata cambia segno, per esempio lungo una clotoide di flesso e nel passaggio dal rettilineo alla curva circolare, durante una certa fase della rotazione la pendenza trasversale è inferiore a quella minima del 2,5 % necessaria per il deflusso dell'acqua. In questi casi, allo scopo di ridurre al minimo la lunghezza del tratto di strada in cui può aversi ristagno di acqua, è necessario che la pendenza longitudinale Δi dell'estremità che si solleva sia non inferiore ad un valore Δi_{\min} [%] dato da:

$$\Delta i_{\min} = 0,1 \times B_i \text{ [%]}$$
$$\Delta i_{\min} = 0,1 \times 3,75 = 0,375 \text{ %}$$

3.2.8 Allargamento in curva

Allo scopo di consentire la sicura iscrizione dei veicoli nei tratti curvilinei del tracciato, conservando i necessari franchi fra la sagoma limite dei veicoli ed i margini delle corsie, è necessario che nelle curve circolari ciascuna corsia sia allargata di una quantità E , data dalla relazione:

$$E = \frac{k}{R} \text{ [m]}$$

$$E_1 = \frac{k}{R_1} = \frac{45}{1000} = 0,045 \text{ m}$$

$$E_2 = \frac{k}{R_2} = \frac{45}{500} = 0,09 \text{ m}$$

dove:

$K = 45$

$R =$ raggio esterno della corsia [m]

Per $R > 40$ m si può assumere, nel caso di strade ad unica carreggiata a due corsie, il valore del raggio uguale a quello dell'asse della carreggiata.

Se l'allargamento E , come in questo tracciato, è inferiore a 20 cm, la corsia conserva la larghezza del rettifilo.

3.3 ANDAMENTO ALTIMETRICO DELL'ASSE

Il profilo altimetrico è costituito da tratti a pendenza costante (livellette) collegati da raccordi verticali convessi e concavi.

Le pendenze massime adottabili, per i diversi tipi di strada, sono indicate nella Tabella 11 seguente:

TIPO DI STRADA		AMBITO URBANO	AMBITO EXTRAURBANO
AUTOSTRADA	A	6%	5%
EXTRAURBANA PRINCIPALE	B	-	6%
EXTRAURBANA SECONDARIA	C	-	7%
URBANA DI SCORRIMENTO	D	6%	-
URBANA DI QUARTIERE	E	8%	-
LOCALE	F	10%	10%

Tabella 11: Pendenze massime adottabili in funzione del tipo di strada

Questi valori possono essere aumentati di una unità quando lo sviluppo della livelletta sia tale da non penalizzare la sicurezza e la circolazione.

Per una strada di categoria C1 la pendenza massima adottabile è del 7%.

3.3.1 Raccordi verticali

I raccordi verticali devono essere conseguiti con archi di parabola quadratica ad asse verticale, il cui sviluppo viene calcolato con l'espressione:

$$L = R_v \times \frac{\Delta i}{100}$$

dove:

Δi = variazione di pendenza in percento delle livellette da raccordare

R_v = raggio del cerchio osculatore nel vertice della parabola.

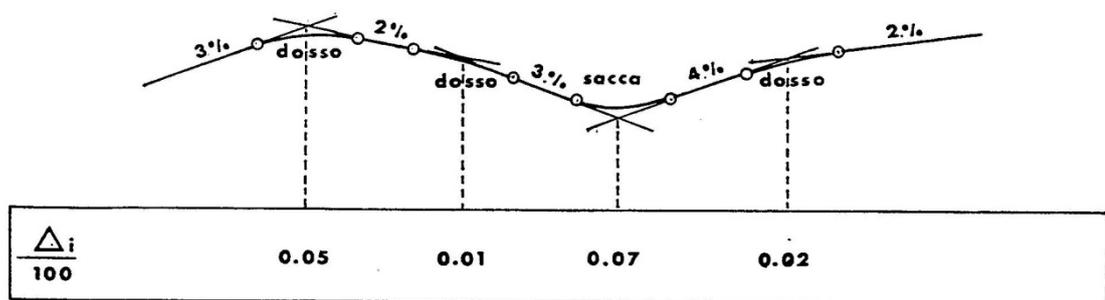


Figura 22: Esempi di variazione di pendenza

L'arco di parabola da inserire tra due livellette, rispetto al riferimento cartesiano indicato nella Figura 23, ha la seguente equazione

$$y = bx - ax^2$$

dove:

$$a = \text{parametro della parabola} = \frac{\Delta i}{100 \times 2L} = \frac{1}{2R_v}$$

$$b = \frac{i_1}{100}$$

$$R_v = \frac{1}{2a} = \text{raggio del cerchio osculatore nel vertice A della parabola} \quad [\text{m}]$$

$$L = \frac{\Delta i}{100 \times 2A} = R_v \frac{\Delta i}{100} = \text{lunghezza dell'arco di parabola} \quad [\text{m}]$$

$$x_a = \frac{i_1}{\Delta i} \times L = \frac{i_1}{100} \times R_v = \text{ascissa del punto a tangente orizzontale (punto più alto del dosso o più basso della sacca)} \quad [\text{m}]$$

$$y_a = \frac{i_1}{100} \times x_a - ax^2 \quad [\text{m}]$$

$$f = \frac{R_v}{8} \left(\frac{\Delta i}{100} \right)^2$$

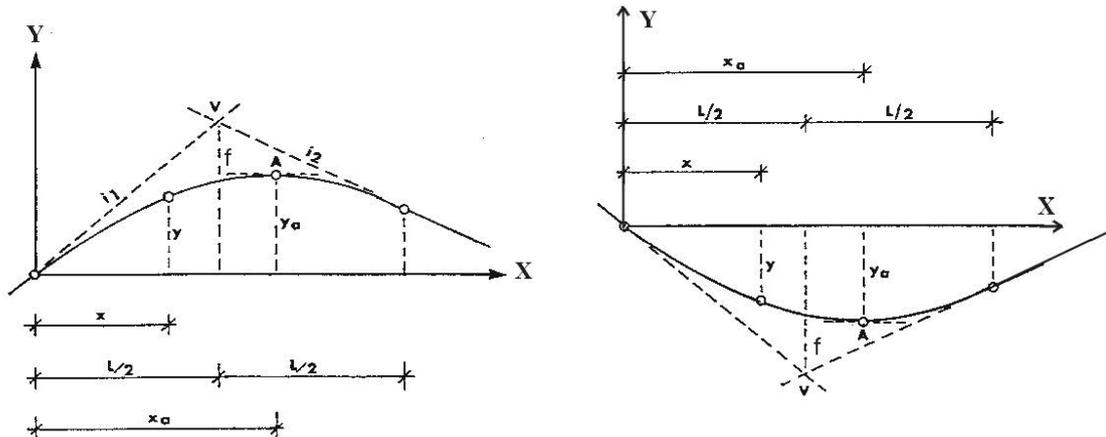


Figura 23: Rappresentazione dell'arco di parabola

Il valore minimo del raggio R_v , che definisce la lunghezza del raccordo, deve essere determinato in modo da garantire:

- che nessuna parte del veicolo (eccetto le ruote) abbia contatti con la superficie stradale. Ciò comporta:

$$R_v \geq R_{vmin} = 20 \text{ m} \quad \text{nei dossi}$$

$$R_v \geq R_{vmin} = 40 \text{ m} \quad \text{nelle sacche}$$

- che per il comfort dell'utenza l'accelerazione verticale a_v non superi il valore a_{lim} ; si ha:

$$a_v = \frac{v_p^2}{R_v} \leq a_{lim}$$

$$a_{v1} = \frac{27,78^2}{6383} = 0,12 \text{ m/s}^2$$

$$a_{v2} = a_{v3} = \frac{27,78^2}{1287} = 0,6 \text{ m/s}^2$$

dove:

v_p = velocità di progetto della curva [m/s]

R_v = raggio del raccordo verticale [m]

$a_{lim} = 0,6 \text{ m/s}^2$

- che vengano garantite le visuali libere

3.3.2 Distanze di visibilità

Per distanza di visuale libera si intende la lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a vedere davanti a sé senza considerare l'influenza del traffico, delle condizioni atmosferiche e di illuminazione della strada. L'esistenza di

opportune visuali libere costituisce primaria ed inderogabile condizione di sicurezza della circolazione. Lungo il tracciato stradale esse devono essere confrontate in fase di progettazione con le seguenti distanze:

- distanza di visibilità per l'arresto, pari allo spazio minimo necessario perché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto
- distanza di visibilità per il sorpasso, pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per compiere una manovra di completo sorpasso in sicurezza, quando non si possa escludere l'arrivo di un veicolo in senso opposto
- distanza di visibilità per la manovra di cambiamento di corsia, pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per il passaggio da una corsia a quella adiacente nella manovra di deviazione in corrispondenza di punti singolari (intersezioni, uscite, ecc.).

La distanza di visibilità per l'arresto viene descritta come:

$$D_a = D_1 + D_2 = \frac{V_0}{3,6} \times \tau - \frac{1}{3,6^2} \int_{V_2}^{V_1} \frac{V}{\frac{R_a(V)}{m} + r_0(V) + g \times \left[f_1(V) \pm \frac{i}{100} \right]} dV$$

dove:

D_1 = spazio percorso nel tempo τ

D_2 = spazio di frenatura

V_0 = velocità del veicolo all'inizio della frenatura, pari alla velocità di progetto desunta puntualmente dal diagramma delle velocità [km/h]

V_1 = velocità finale del veicolo, in cui $V_1 = 0$ in caso di arresto [km/h]

i = pendenza longitudinale del tracciato [%]

τ = tempo complessivo di reazione (percezione, riflessione, reazione e attuazione)

g = accelerazione di gravità [m/s²]

R_a = resistenza aerodinamica [N]

m = massa del veicolo [kg]

f_1 = quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura

r_0 = resistenza unitaria al rotolamento, trascurabile [N/kg].

La resistenza aerodinamica R_a si valuta con la seguente espressione:

$$Ra = \frac{1}{2 \times 3,6^2} \rho C_x S V^2$$

dove:

C_x = coefficiente aerodinamico

S = superficie resistente [m²]

ρ = massa volumica dell'aria in condizioni standard [kg/m³].

Per f_l possono adottarsi le due serie di valori di seguito riportate, una relativa alle autostrade e l'altra valida per tutti gli altri tipi di strade.

VELOCITA' km/h	25	40	60	80	100	120	140
f_l Autostrade	-	-	-	0.44	0.40	0.36	0.34
f_l Altre strade	0,45	0.43	0.35	0.30	0.25	0.21	-

Tabella 12: Coefficiente di aderenza in funzione della velocità

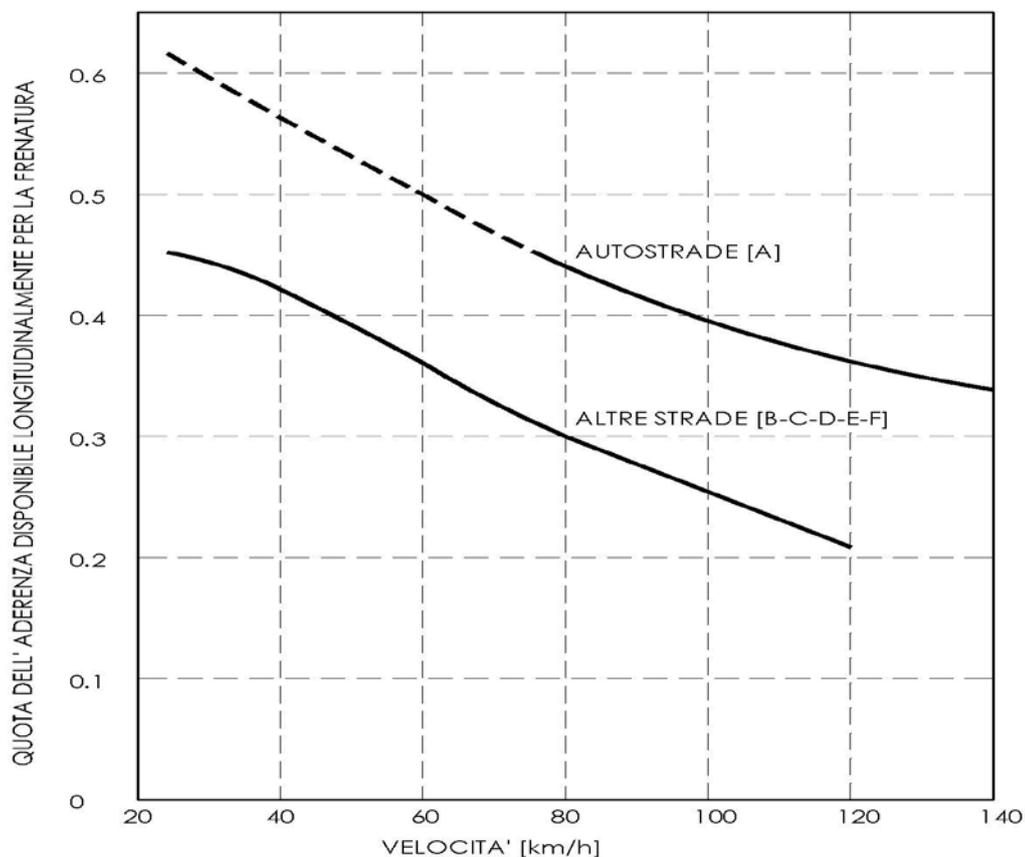


Figura 24: Coefficiente di aderenza in funzione della velocità

Le distanze così calcolate sono valide sia in rettilineo che in curva.

Per il tempo complessivo di reazione si assumono valori linearmente decrescenti con la velocità da 2,6 s per 20 km/h, a 1,4 s per 140 km/h, in considerazione della attenzione più concentrata alle alte velocità.

$$\tau = (2,8 - 0,01 \times V) \quad [\text{s}] \quad \text{con } V \text{ in Km/h}$$

PER LE ALTRE STRADE

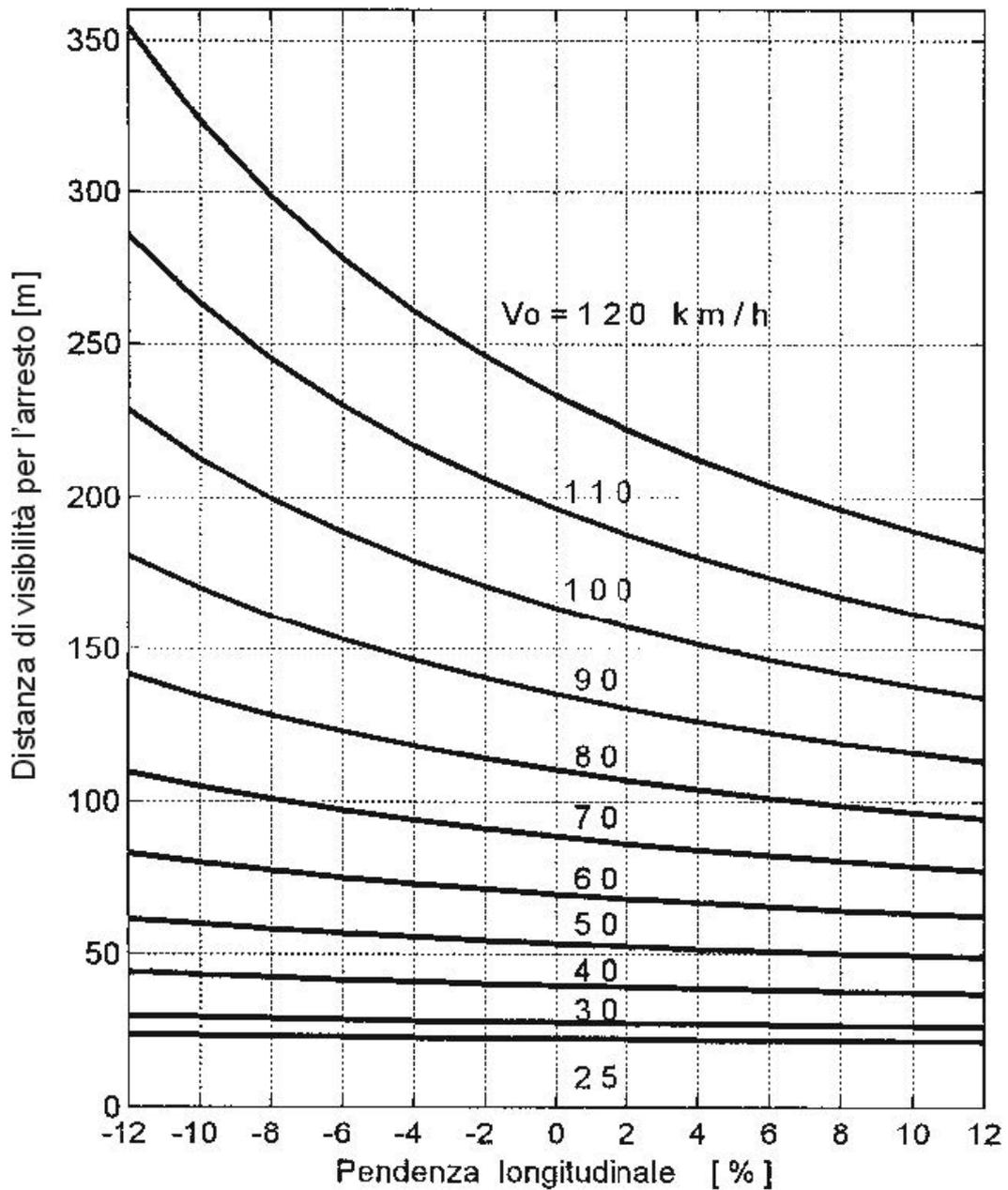


Figura 25: Distanza di visibilità per l'arresto

La Figura 25 riporta le distanze di visibilità per l'arresto calcolate per il caso di una autovettura media le cui caratteristiche di resistenza aerodinamica sono precisate di seguito:

C_x = coefficiente aerodinamico = 0,35

S = superficie resistente = 2,1 [m²]

m = massa del veicolo = 1250 [kg]

ρ = massa volumica dell'aria in condizioni standard = 1,15 [kg/m³].

Con queste condizioni e V espressa in km/h:

$$\frac{R_a}{m} = 2,61 \times 10^{-5} \times V^2 \quad [\text{N/kg}]$$

La distanza di visibilità per l'arresto da garantire è:

$$D_a = 165,05 \text{ m}$$

la quale viene soddisfatta sull'intero tracciato considerando la messa in opera di un guard rail su entrambi i lati della strada ad un'altezza di $h = 1 \text{ m}$.

Tale distanza è stata ottenuta grazie all'allargamento della corsia interna di 3 cm, in corrispondenza della Curva 1, e di 3,55 m nella Curva 2.

In presenza di veicoli marcianti in senso opposto la distanza di visibilità completa per il sorpasso si valuta con la seguente espressione:

$$D_s = 20 \times v = 5,5 \times V \quad [\text{m}]$$

$$D_s = 5,5 \times 100 = 550 \text{ m}$$

dove:

v (m/s) oppure V (km/h) è la velocità di progetto desunta puntualmente dal diagramma della velocità ed attribuita uguale sia per il veicolo sorpassante che per il veicolo proveniente dal senso opposto.

Nelle strade extraurbane a unica carreggiata con doppio senso di marcia, la distanza di visibilità per il sorpasso deve essere garantita per una conveniente percentuale di tracciato, in relazione al flusso di traffico smaltibile con il livello di servizio assegnato, in misura comunque non inferiore al 20%. Nei tratti di carenza di visibilità per il sorpasso, tale manovra deve essere interdetta con l'apposita segnaletica.

In questo tratto di Pedemontana la distanza di visuale libera per il sorpasso risulta uguale a 600 m, maggiore del limite consentito.

La distanza di visibilità per la manovra di cambiamento di corsia viene descritta come:

$$D_c = 9,5 \times v = 2,6 \times V \quad [\text{m}]$$

$$D_c = 2,6 \times 100 = 260 \text{ m}$$

dove:

v = velocità del veicolo in [m/s], oppure V in [km/h], desunta puntualmente dal diagramma delle velocità.

Nel caso in esame la strada presenta una sola corsia per senso di marcia, quindi la distanza di visibilità per il cambiamento di corsia viene valutato in prossimità delle uscite. In questo caso la distanza di visibilità risulta maggiore del limite consentito.

Le distanze di visibilità da verificare dipendono dal tipo di strada in progetto e dall'elemento di tracciato considerato. Indipendentemente però dal tipo di strada e dall'ambito (extraurbano o urbano), lungo tutto il tracciato deve essere assicurata la distanza di visibilità per l'arresto in condizioni ordinarie o con tempi di reazione maggiorati.

Ai fini delle verifiche delle visuali libere, la posizione del conducente deve essere sempre considerata al centro della corsia da lui impegnata, con l'altezza del suo occhio a 1,10 m dal piano viabile. Nella valutazione della distanza di visibilità per l'arresto, l'ostacolo va collocato a 0,10 m dal piano viabile e sempre lungo l'asse della corsia del conducente. Nel caso della distanza di visibilità per il sorpasso, l'ostacolo mobile va collocato nella corsia opposta, con altezza pari a 1,10 m.

3.3.3 Raccordi verticali convessi (dossi)

Con riferimento alle distanze di visibilità da verificare in relazione alle situazioni progettuali assunte, il raggio minimo del raccordo viene determinato come di seguito:

R_v = raggio del raccordo verticale convesso [m]

D = distanza di visibilità da realizzare [m]

Δ_i = variazione di pendenza delle due livellette, espressa in percento

h_1 = altezza sul piano stradale dell'occhio del conducente [m]

h_2 = altezza dell'ostacolo [m].

Si distinguono due casi:

- se $D < L$ si ha

$$R_v = \frac{D^2}{2 \times \left(D - 100 \frac{h_1 + h_2 + 2 \times \sqrt{h_1 \times h_2}}{\Delta i} \right)}$$

- se $D > L$ si ha

$$R_v = \frac{2 \times 100}{\Delta i} \left[D - 100 \frac{h_1 + h_2 + 2 \times \sqrt{h_1 \times h_2}}{\Delta i} \right]$$

Si pone di norma $h_1 = 1,10$ m e nel caso di visibilità per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso si pone $h_2 = 0,10$ m. La visibilità necessaria per il sorpasso pone $h_2 = 1,10$ m.

La Figura 26 fornisce, per diversi valori di D , le lunghezze R_v , quando $h_1 = 1,10$ m e $h_2 = 0,10$ m.

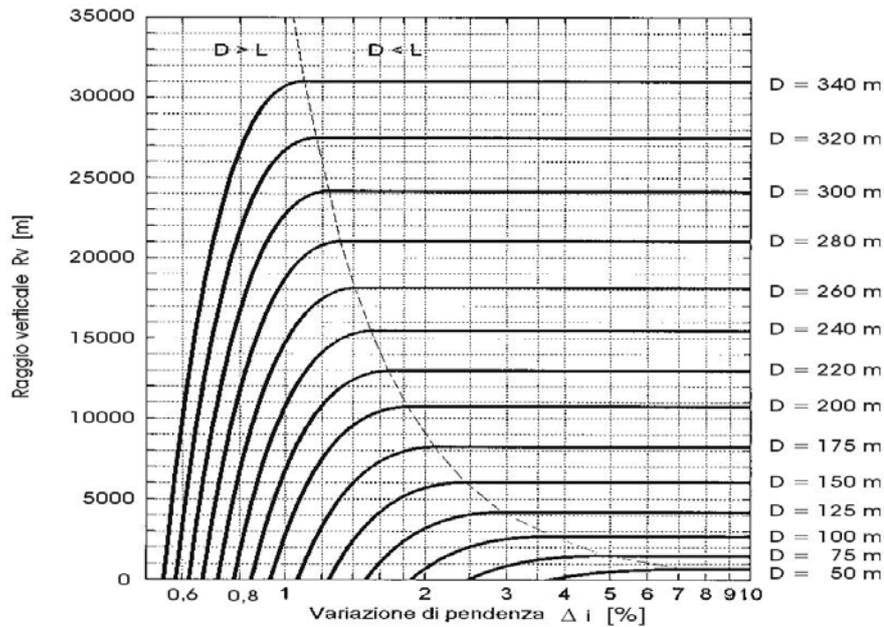


Figura 26: Raggio verticale con $h_1=1,10$ m e $h_2=0,10$ m

La Figura 27 si riferisce invece a $h_1 = h_2 = 1,10$ m.

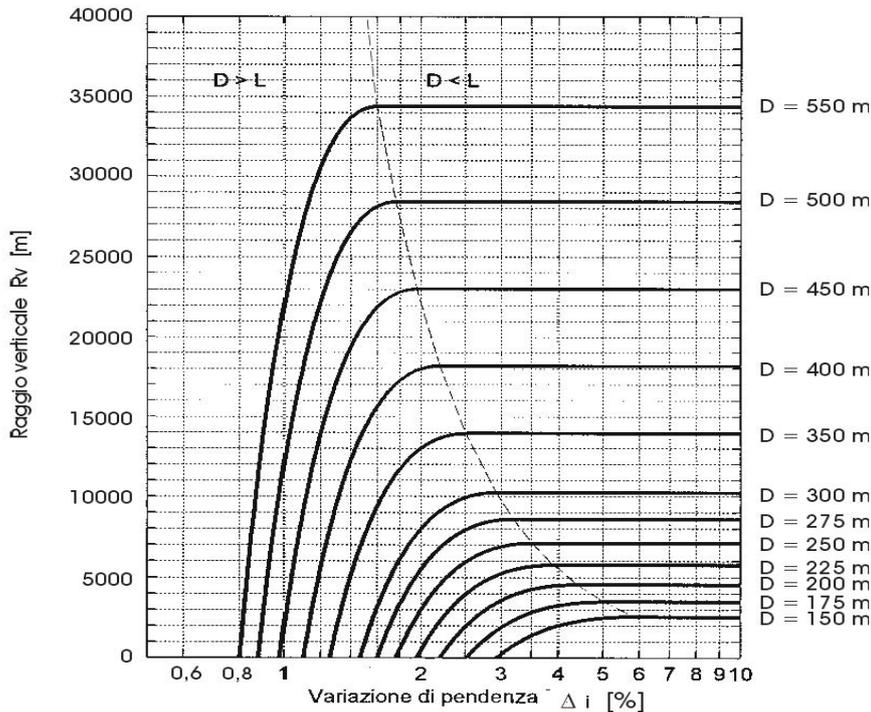


Figura 27: Raggio verticale con $h_1=h_2=1,10$ m

3.3.4 Raccordi verticali concavi (sacche)

Con riferimento alla sola distanza di visibilità per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso, ed in mancanza di luce naturale, il raggio minimo del raccordo viene determinato come di seguito. Siano:

R_v = raggio del raccordo verticale concavo [m]

D = distanza di visibilità da realizzare per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso [m]

Δi = variazione di pendenza delle due livellette espressa in percento

h = altezza del centro dei fari del veicolo sul piano stradale [m]

ϑ = massima divergenza verso l'alto del fascio luminoso rispetto l'asse del veicolo.

Si distinguono due casi:

- se $D < L$ si ha

$$R_v = \frac{D^2}{2(h + D \sin \vartheta)}$$

- se $D > L$ si ha

$$R_v = \frac{2 \times 100}{\Delta i} \left[D - \frac{100}{\Delta i} (h + D \sin \theta) \right]$$

ponendo $h = 0,5$ m e $\vartheta = 1^\circ$ si hanno i valori di R_v , riportati nella Figura 28

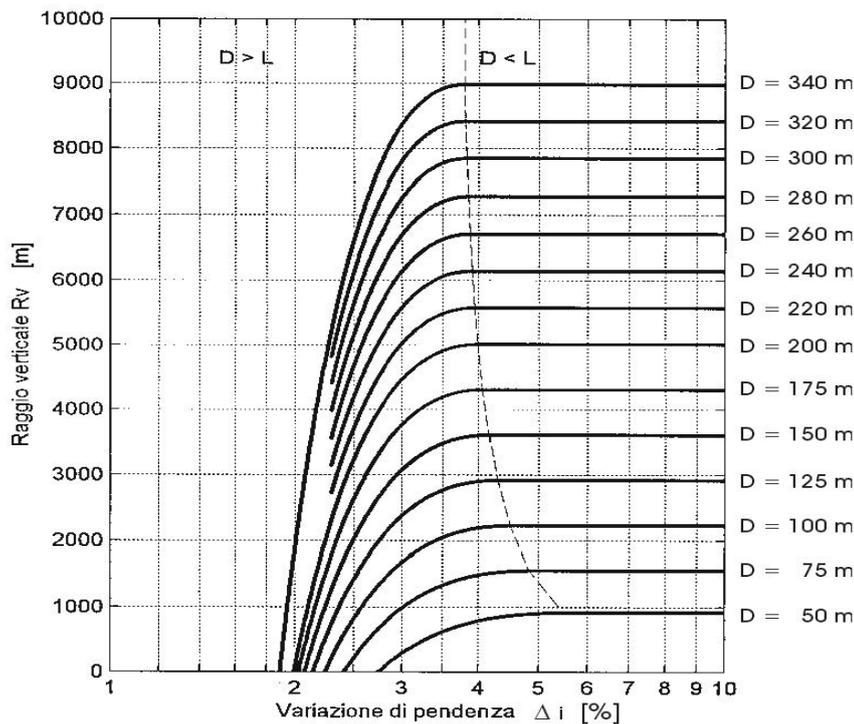


Figura 28: Raggio verticale con $h=0,5$ m e $\theta=1^\circ$

In questo tracciato sono presenti quattro livellette e tre raccordi verticali, di cui uno convesso (Raccordo verticale 1) e due concavi.

Livelletta	Lunghezza [m]	Pendenza [%]
1	99,28	-1,39
2	683,75	-3,36
3	356,97	-1,66
4	2005,46	-1,33

Tabella 13: : Livellette

Raccordo verticale	Raggio verticale [m]	Sviluppo [m]	Δi [%]
1	6383	125,81	-1,97
2	1287	21,93	1,7
3	1287	4,16	0,32

Tabella 14: Raccordi verticali

3.3.5 Diagramma delle velocità

La verifica della correttezza della progettazione comporta la redazione del diagramma di velocità per ogni senso di circolazione. Ad ogni tipo di strada sono associati un limite inferiore ed uno superiore per la velocità di progetto degli elementi pianoaltimetrici che compongono il suo asse. Il diagramma delle velocità è

la rappresentazione grafica dell'andamento della velocità di progetto in funzione della progressiva dell'asse stradale. Si costruisce sulla base del suo tracciato planimetrico, calcolando per ogni elemento di esso l'andamento della velocità di progetto che deve essere contenuto nei limiti di cui sopra. Il modello semplificato di variazione della velocità lungo il tracciato, che di seguito si presenta, si basa sulle seguenti ipotesi:

- in rettilineo, sugli archi di cerchio con raggio non inferiore a $R_{2,5}$ e nelle clotoidi, la velocità di progetto tende al limite superiore dell'intervallo; gli spazi di accelerazione conseguenti all'uscita da una curva circolare e quelli di decelerazione per l'ingresso a detta curva, ricadono soltanto negli elementi considerati (rettilineo, curve ampie con $R_v > R_{2,5}$)
- la velocità è costante lungo tutto lo sviluppo delle curva con raggio inferiore a $R_{2,5}$
- i valori dell'accelerazione e della decelerazione restano determinati in $0,8 \text{ m/s}^2$
- si assume che le pendenze longitudinali non influenzino la velocità di progetto.

3.3.6 Lunghezza di transizione

La lunghezza di transizione D_T è la lunghezza in cui la velocità, conformemente al modello teorico ammesso, passa dal valore V_{p1} a quello di V_{p2} , competenti a due elementi che si succedono. D_T è dato dalla seguente espressione:

$$D_T = \frac{\Delta V \times V_m}{12,96 \times a}$$

$$D_T(100) = 0 \text{ m}$$

dove:

ΔV = differenza di velocità ($V_{p1} - V_{p2}$) [km/h]

V_m = velocità media tra due elementi [km/h]

a = accelerazione o decelerazione $\pm 0,8$ [m/s^2].

3.3.7 Distanza di riconoscimento

Per distanza di riconoscimento si intende la lunghezza massima del tratto di strada entro il quale il conducente può riconoscere eventuali ostacoli e avvenimenti. Essa è funzione della velocità e può essere calcolata in metri con la relazione:

$$D_r = t \times v_p$$
$$D_r = 12 \times 27,78 = 333,56 \text{ m}$$

con:

$$t = 12 \text{ s}$$

v_p = è da intendersi riferita all'elemento di raggio maggiore [m/s].

Secondo questo modello l'apprezzamento di una variazione di curvatura dell'asse, che consenta al conducente di modificare la sua velocità, può avvenire solo all'interno della distanza di riconoscimento e quindi per garantire la sicurezza della circolazione in caso di decelerazione la distanza di transizione deve avere una lunghezza non superiore alla distanza di riconoscimento:

$$D_T \leq D_r$$

ed inoltre affinché la variazione di curvatura sia effettivamente percepita deve essere:

$$D_T \leq D_v$$

dove con D_v si indica la distanza di visuale libera nel tratto che precede la curva circolare.

In entrambi i casi viene verificata la normativa.

Il diagramma della velocità si ottiene riportando le D_T relative alle manovre di accelerazione o decelerazione dai rispettivi punti di inizio o di fine. Una volta ottenuto il diagramma di velocità e verificate soddisfatte le condizioni sulle distanze di transizione D_T , occorre assicurarsi che il tracciato possa essere tenuto omogeneo per entrambi i sensi di circolazione. Si dovrà avere che, per $V_p \geq 100 \text{ km/h}$ (autostrade, strade extraurbane principali e secondarie) nel passaggio da tratti caratterizzati dalla V_{pmax} a curve a velocità inferiore, la differenza di velocità di progetto non deve superare i 10 km/h. Fra due curve successive tale differenza è consigliabile che non superi i 15 km/h. Per gli altri tipi di strade ($V_{pmax} \leq 80 \text{ km/h}$), nel passaggio da tratti caratterizzati dalla velocità a curve a velocità inferiore, la differenza di velocità non deve superare i 5 km/h. Anche in questo caso, fra due curve successive, tale differenza è consigliabile che non superi i 10 km/h.

Nel caso in esame il diagramma di velocità è costante a 100 km/h per l'intero tracciato.

3.3.8 Perdita di tracciato

Quando un raccordo concavo segue un raccordo convesso, nel quadro prospettico dell'utente può rimanere mascherato un tratto intermedio del tracciato. Si definisce questa situazione come “perdita di tracciato”. Questa perdita può disorientare l'utente quando il tracciato ricompare ad una distanza inferiore a quella riportata nella tabella seguente:

Velocità [km/h]	25	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Distanza di ricomparsa [m]	150	180	220	280	350	420	500	560	640	720	800	860

Tabella 15: Distanza di ricomparsa in funzione della velocità

Occorre evitare queste situazioni, in particolare quando mascherano intersezioni o cambiamenti di direzione.

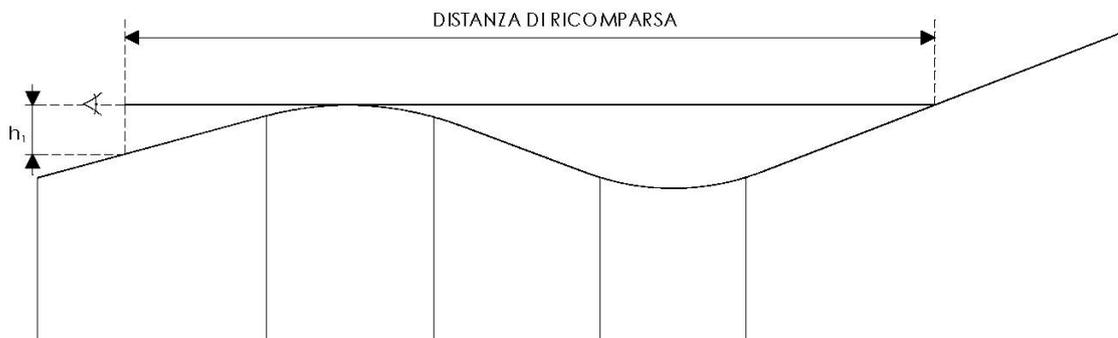


Figura 29: Distanza di ricomparsa

Il tracciato presenta un raccordo convesso seguito da due raccordi concavi, ma avendo un andamento discendente, la perdita di tracciato non si presenta in nessun punto.

3.4 Sezioni trasversali

Per la scelta della tipologia delle sezioni trasversali si è progettato il corpo stradale tenendo presente la qualità del terreno. Le sezioni scelte presentano:

- un decorticamento superficiale di 30 cm
- uno strato, costituente il rilevato, in materiale compattato a strati fino a raggiungere l'adeguato costipamento
- un pacchetto portante costituente la sovrastruttura vera e propria.

Nella tavola relativa sono presentate tutte le casistiche possibili di configurazione della piattaforma stradale in scala 1:50, in particolare:

- la sezione in rilevato presenta un terreno appartenente alla classe A1 – A2 – A3 o classi diverse stabilizzate con calce. La scarpata a lato ha una pendenza di 3:2 ed è ricoperto da una coltre erbosa dello spessore approssimativo di 20 o 30 cm. Questo strato comprende anche una gradonatura che viene effettuata solo se la pendenza supera il 15%. Ai lati della carreggiata abbiamo la barriera di ritenuta (rappresentato nel particolare) che fuoriesce dal terreno di 70 cm.

E' rappresentato il particolare dello strato di pavimentazione in scala 1:10 che sono comuni alle tre tipologie di sezione; è mostrato anche il particolare dell'arginello in scala 1:25 completo di guard rail.

- la sezione in scavo è caratterizzata da una scarpata a lato con una pendenza di 1:1, ricoperta da una coltre erbosa dello spessore approssimativo di 20 o 30 cm. E' rappresentato il particolare della cunetta a sezione trapezoidale, nella quale sono riportate le relative dimensioni in scala 1:25.
- nella sezione in mezzacosta sono presenti caratteristiche di entrambe le precedenti, quindi anche per quel che riguarda i particolari sono presenti sia l'arginello sia la cunetta.

Al di sotto del materiale da rilevato deve essere messa in opera uno strato anticapillare dello spessore di 30 cm o più che ha la funzione di evitare le risalite di acqua che potrebbero andare a danneggiare il piano di posa ed il manufatto stradale.

Il dimensionamento della pavimentazione è stato eseguito in funzione dell'impiego; il multistrato progettato risulta così composto:

- tappeto d'usura in conglomerato bituminoso (4 cm)
- strato di binder in conglomerato bituminoso (6 cm)

- strato di base in conglomerato bituminoso (15 cm)
- strato di fondazione microgranulare (30 cm).

La pavimentazione della sezione stradale in sede artificiale risulta composta da:

- strato in conglomerato bituminoso (6 cm)
- soletta in CAP (25 cm).

Con il termine sede artificiale si intendono le opere di scavalco e i sottopassi. Per quel che riguarda la progettazione di essi, si devono mantenere invariate le dimensioni degli elementi componenti la piattaforma, relativamente al tipo di strada a cui appartengono. A margine della piattaforma della strada extraurbana si devono predisporre dei dispositivi di ritenuta e parapetti di altezza non inferiore ad 1 m e valutare la predisposizione di un'adeguata protezione, con reti di conveniente altezza del traffico sottostante per tutti i tipi di strada, qualora l'opera in sottopasso abbia una lunghezza superiore ai 20 m, la piattaforma e gli elementi marginali saranno previsti in analogia al caso delle gallerie. Le strutture orizzontali devono avere una altezza, misurata sulla verticale a partire da un qualsiasi punto della carreggiata sottostante, non inferiore ai 5 m.

Viene scelto un viadotto a travata con sezione sottile poiché comporta luci contenute ($10 \text{ m} < L < 35 \text{ m}$), la possibilità di prefabbricazione, semplicità nella costruzione e vantaggi economici. L'impalcato è composto da un affiancamento di travate generalmente in acciaio o prefabbricate in CAP, collegate da traversi in CA gettato in opera e soletta in CAP post-teso gettato in opera. La travata ha funzione portante, i traversi quella di collegamento e irrigidimento flessionale e torsionale, mentre la soletta quella di completamento della superficie di appoggio della pavimentazione.

3.5 Movimenti di terra

La scelta progettuale impone una notevole movimentazione di terra essendo l'intero progetto in viadotto e in rilevato.

Il calcolo dei volumi è eseguito applicando il metodo delle sezioni ragguagliate:

$$V = (A_1 + A_2) \times \frac{d}{2}$$

dove:

- A_1 = area della prima sezione
- A_2 = area della seconda sezione

- d = distanza tra le due sezioni.

Tale metodo sfrutta l'ipotesi che l'andamento del terreno tra le sezioni sia di tipo lineare.

I volumi totali di terreno spostati risultano essere:

- STERRO: 212,40 m³
- RILEVATO: 61390,49 m³
- SCOTICO: 6572,57 m³
- FONDAZIONE: 3305,87 m³

3.6 Zona d'occupazione

Realizzata in scala 1:2000, nasce dall'unione della poligonale d'asse con il quaderno delle sezioni. Su questo elaborato, importante ai fini dell'esproprio della zona evidenziata, si è potuto notare l'ingombro definitivo dell'opera. Per quanto riguarda la Pedemontana, abbiamo infatti la rappresentazione delle due corsie di 3,75 m (più l'eventuale allargamento interno nei punti dove fosse presente) con 1,50 m di banchina su entrambi i lati. Per quanto riguarda le rampe e le corsie specializzate, abbiamo la rappresentazione di una corsia di 4 m con 1 m di banchina su entrambi i lati. A seconda che ci si trovi in condizioni di sterro o di riporto, è possibile trovare ai bordi della carreggiata una cunetta trapezio di 0,90 m oppure un arginello di 0,50 m e le relative scarpate che individuano i limiti estremi dell'opera stradale.

3.7 Barriere di sicurezza

Nel D.M. 21 Giugno 2004, il problema barriere di sicurezza viene affrontato per la prima volta da un punto di vista prestazionale e non solo geometrico come nelle norme precedenti. Secondo questo approccio la barriera deve verificare i seguenti obiettivi:

- adeguatezza strutturale senza distacco di elementi
- contenimento del veicolo senza ribaltamento a scavalcamiento
- sicurezza per gli occupanti del veicolo
- traiettoria di rinvio del veicolo inferiore a 1/3 dell'angolo d'impatto
- spostamento trasversale totale della barriera da valutare in base alla destinazione.

I principali parametri che vengono rilevati durante le prove e che descrivono il comportamento della barriera sono:

- Livello di contenimento (L_c) che rappresenta l'energia cinetica posseduta dal mezzo al momento dell'impatto calcolata con riferimento alla componente della velocità ortogonale alle barriere:

$$L_c = \frac{1}{2} M (v \sin \phi^2)$$

dove:

M = massa del veicolo [t]

V = velocità di impatto [m/s]

ϕ = angolo di impatto [deg]

In base al livello di contenimento la normativa prevede una classificazione delle barriere:

- | | |
|---|----------------|
| - classe N1, contenimento minimo | $L_c = 44$ kJ |
| - classe N2, contenimento medio | $L_c = 82$ kJ |
| - classe H1, contenimento normale | $L_c = 127$ kJ |
| - classe H2, contenimento e rilevato | $L_c = 288$ kJ |
| - classe H3, contenimento elevatissimo | $L_c = 463$ kJ |
| - classe H4, contenimento per tratti ad altissimo rischio | $L_c = 572$ kJ |

Le protezioni contro barriere di sicurezza sono ritenute necessarie in caso di:

- bordo laterale di tutte le opere d'arte all'aperto (ponti, viadotti, sovrappassi, muri di sostegno della carreggiata)
- spartitraffico, ove presente
- bordo laterale nelle sezioni stradali di altezza rispetto al piano campagna ≥ 1 m
- bordo laterale stradale nelle sezioni in rilevato con tendenza delle scarpate $\geq 2/3$; per pendenze inferiori si demanda al progettista la valutazione di situazioni di potenziale pericolosità
- ostacoli fissi (pile di font, rocce affioranti, alberature, pali di illuminazione, supporti per segnaletica, edifici, cortili).

Il Decreto Ministeriale riporta le tabelle che indicano le classi minime di barriere da impiegarsi in funzione del tipo di strada, di traffico e della destinazione generale delle barriere stesse (spartitraffico, bordo laterale, bordo ponte).

Ai fini applicativi il traffico sarà classificato in ragione dei volumi di traffico e della prevalenza dei mezzi che lo compongono, distinto nei seguenti livelli:

Tipo di traffico	TGM	% Veicoli con massa >3,5 t
I	≤1000	Qualsiasi
I	>1000	≤ 5
II	>1000	5 < n ≤ 15
III	>1000	> 15

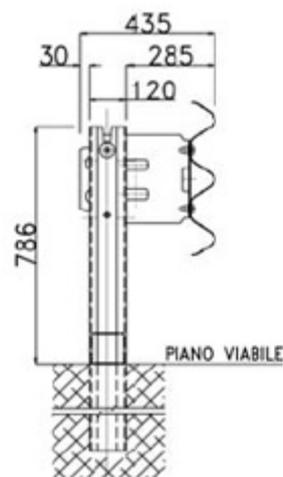
Tabella 16: Tipo di traffico

Tipo di strada	Tipo di traffico	Barriere spartitraffico	Barriere bordo laterale	Barriere bordo ponte ⁽¹⁾
Autostrade (A) e strade extraurbane principali(B)	I	H2	H1	H2
	II	H3	H2	H3
	III	H3-H4 ⁽²⁾	H2-H3 ⁽²⁾	H3-H4 ⁽²⁾
Strade extraurbane	I	H1	N2	H2

secondarie(C) e Strade urbane di scorrimento (D)	II	H2	H1	H2
	III	H2	H2	H3
Strade urbane di quartiere (E) e strade locali(F).	I	N2	N1	H2
	II	H1	N2	H2
	III	H1	H1	H2

Tabella 17: Classi minime delle barriere

Sui due lati esterni del tracciato stradale verranno installate barriere di sicurezza antisvio (guard rail) di tipo metallico a doppio stadio di deformazione H3 a bordo ponte, H2 lungo il tracciato.



DIS.: H2BL300

Interasse pali: mm 3.000

Figura 30: Barriera tipo H2

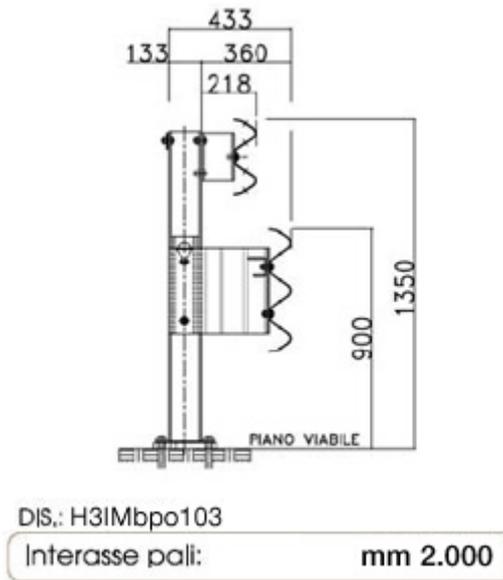


Figura 31: Barriera tipo H3

3.8 Elaborati grafici

Il progetto prevede lo sviluppo della rete stradale e della costruzione del solido stradale.

1	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	SCALA 1:5000
2	POLIGONALE D'ASSE	SCALA 1:2000
3	PROFILO LONGITUDINALE	SCALA 1:2000
4	QUADERNO DELLE SEZIONI	SCALA 1:200
5	AREA DI OCCUPAZIONE	SCALA 1:2000
6	SEZIONI TIPO	SCALA 1:10/1:25/1:50

Tabella 18: Elaborati grafici

CAPITOLO QUARTO

La seconda fase della progettazione ha riguardato la progettazione di uno svincolo nei pressi di Piano Aventino per poter raggiungere la zona di Casoli, in particolare l'area industriale. All'inizio si è pensato a due rampe dirette e due cappi, ma a causa dell'area con elevate pendenze è risultata impossibile la costruzione di rampe indirette che rispettassero i valori imposti da normativa. Nel caso in esame è stata utilizzata un'evoluzione dello schema a “diamante” in cui le intersezioni a raso sono state sostituite da intersezioni a rotatoria lungo l'asse di scorrimento secondario. Con questa tipologia viene ridotto l'impiego di corsie di immissione e di uscita dall'asse secondario, per mezzo dell'inserimento di due rotatorie che raccolgono i flussi provenienti dalle rampe di accesso all'uscita dall'asse principale e i flussi di attraversamento dell'asse secondario. Tali rotatorie, denominate Anello 1 e Anello 2, sono messe in comunicazione per mezzo di un asse a doppio senso che interseca l'asse principale per mezzo di un sottopasso o di un viadotto, minimizzando la necessità di opere d'arte rispetto a tutte le altre soluzioni. L'occupazione planimetrica è simile a quella ricavabile con l'utilizzo della tipologia a “diamante”, con maggiore sicurezza per gli utenti nell'approccio dell'intersezione a rotatoria.

Lo svincolo è formato da quattro rampe dirette che per comodità chiameremo Nord-Est, Nord-Ovest, Sud-Ovest e Sud-Est.

L'asse secondario a doppio senso che interseca l'asse principale per mezzo di un viadotto che mette in collegamento le due rotatorie è la strada N. 76, riqualificata a C1 extraurbana secondaria per la realizzazione dello svincolo stesso.



Figura 32: Incrocio in corrispondenza della rotatoria Anello 1 in progetto



Figura 33: Strada in corrispondenza della rotatoria Anello 2 in progetto

4.1 INTERSEZIONI STRADALI

La corretta collocazione delle intersezioni rappresenta un elemento fondamentale del procedimento di pianificazione e di progettazione che va verificato in base a tre condizioni:

- eventuali interferenze funzionali con intersezioni adiacenti
- compatibilità con le condizioni plano-altimetriche degli assi viari
- compatibilità con le caratteristiche della sede viaria (sede naturale, gallerie, viadotti, ecc.).

Per quanto concerne l'interferenza con i nodi viari adiacenti, la distanza minima da adottare dipende dalla tipologia delle intersezioni, dovendosi considerare interferente anche una parziale sovrapposizione della segnaletica di preavviso. In linea generale si deve adottare in campo extraurbano un distanziamento minimo di 500 m tra

intersezioni contigue. Per quanto concerne le condizioni plano-altimetriche, valgono le seguenti avvertenze:

- le intersezioni devono essere realizzate preferibilmente in corrispondenza dei tronchi stradali rettilinei; possono essere realizzate anche in tratti di strada curvilinei ma nel rispetto delle distanze minime di visibilità
- per le intersezioni a raso l'angolazione tra gli assi delle strade non deve risultare inferiore ad un angolo di valore pari a 70°
- sulle rampe e lungo appostamenti per le manovre di entrata e di uscita non è consentita la realizzazione di accessi, passi carrabili, aree di sosta, fermate veicolari ed altre consimili funzioni
- per le intersezioni a raso i rami di interconnessione che realizzano le svolte devono avere pendenze aggiuntive longitudinali non superiori del 2% rispetto alle livellette delle strade confluenti
- le intersezioni possono essere realizzate in viadotto, in corrispondenza di opere di sostegno ed in galleria, escludendo in quest'ultimo caso di indicare le aree di diversione e di immissione nelle zone di imbocco e di uscita delle gallerie.

Le principali manovre elementari che possono essere effettuate in un'intersezione sono schematicamente rappresentate in Tabella 19. Tra queste, le manovre di diversione o di immissione in sinistra non sono ammesse sulla corrente principale di traffico di strade di tipo A, B e D mentre sono ammesse sulle loro strade di servizio, sulle rampe di svincolo e sulla corrente principale di traffico di strade di tipo C, E ed F.

Conseguentemente alle manovre indicate in Tabella 19, vengono ad identificarsi alcuni punti caratteristici, dalla presenza dei quali dipendono le condizioni di sicurezza e di operatività dell'intersezione. Questi costituiscono i cosiddetti "punti di conflitto" fra le traiettorie e nascono dalla interferenza potenziale di queste. Si distinguono in:

- punti di conflitto di intersezione o attraversamento
- punti di conflitto di diversione
- punti di conflitto di immissione.

Per i punti di conflitto di intersezione deve essere adottata una delle seguenti soluzioni progettuali:

- sfalsamento altimetrico delle traiettorie
- realizzazione dei tronchi di scambio trasformando il punto di conflitto di intersezione in punti di diversione e/o immissione
- sfalsamento temporale di tipo imposto (semaforo) o di tipo attuato dall'utente (precedenza o stop).

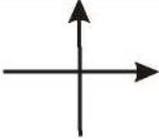
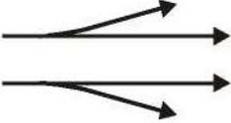
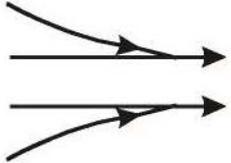
a) attraversamento ad incrocio		
b) diversione o uscita	in sinistra in destra	
c) immissione o entrata	in sinistra in destra	
d) svolta propriamente detta		
e) scambio		

Tabella 19: Manovre possibili in una intersezione

Sulla base della classificazione delle strade previste dal Codice della Strada e dal D.M. 5.11.2001 n° 6792 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”, articolato in otto tipi di strade, quattro per l'ambito extraurbano e quattro per l'ambito urbano, i nodi di interconnessione possono concettualmente rappresentarsi come gli elementi di una matrice simmetrica (8×8), del tipo di quella riportata nella Figura 34, ove figurano tutti possibili nodi di intersezione fra due strade (o punti simbolici).

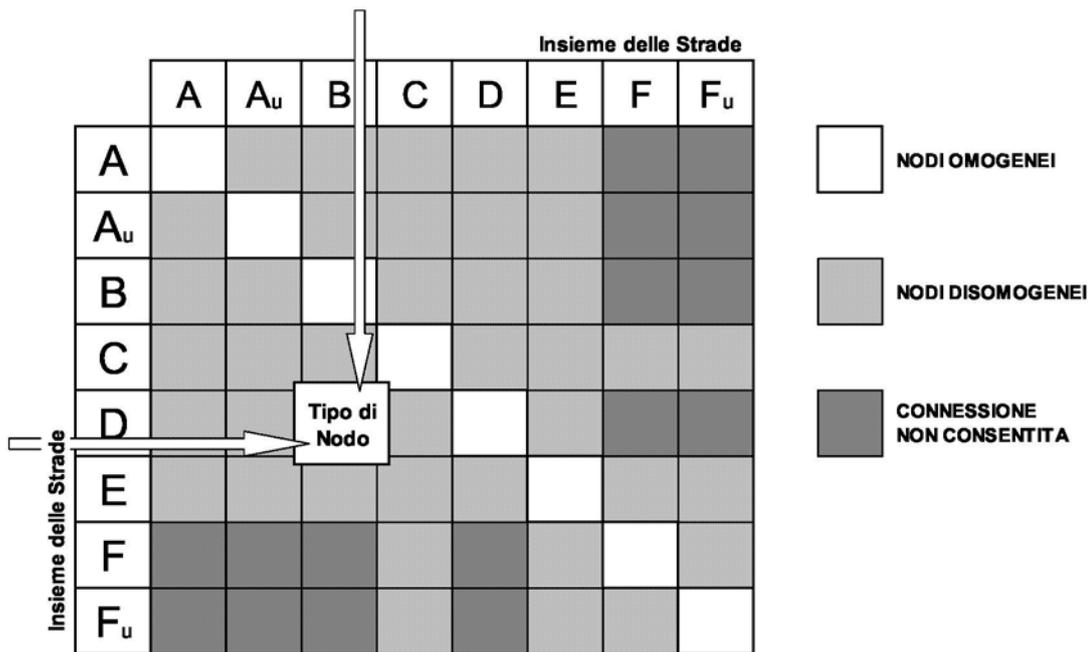


Figura 34: Matrice simbolica di rappresentazione di tutti i possibili nodi d'intersezioni

Nella matrice si distinguono nodi omogenei, che connettono strade dello stesso tipo e nodi disomogenei, che connettono strade di tipo diverso. Mentre nei primi (nodi omogenei) sono sempre consentite connessioni che realizzano il trasferimento dei flussi da una strada all'altra, nei secondi (disomogenei), per ragioni di sicurezza e funzionalità, non sempre la realizzazione della connessione dei flussi di traffico è ammessa. Pertanto alcuni nodi, nei quali è forte la differenza fra i livelli gerarchici delle strade confluenti, vengono considerati non ammissibili. Laddove la connessione è ammessa, è possibile distinguere diverse tipologie di nodo in relazione alla possibilità o meno che in corrispondenza del nodo si verificano punti di conflitto di intersezione (vedi Figura 35). Nel caso di nodo in cui le strade confluenti siano tutte a carreggiate separate, non sono ammessi punti di conflitto di intersezione e la connessione sarà risolta con uno svincolo, ammettendo eventualmente attraverso le correnti di svolta manovre di scambio. Laddove una delle strade che convergono nel nodo è di un tipo per il quale la sezione trasversale è prevista ad unica carreggiata, possono essere ammesse su tale strada manovre a raso, mentre l'incrocio fra le correnti principali va risolto sfalsando i livelli (nodo di tipo 2). Laddove le due strade che si considerano appartengano a tipi per i quali la sezione trasversale prevista è ad unica carreggiata, intersezione potrà essere risolta a raso (nodo di tipo 3).

Alle tipologie di nodi individuate si possono associare soluzioni geometriche compatibili e differenziate in relazione ai tipi di strade confluenti nel nodo.

Le intersezioni a raso, definite dal Codice della Strada, vengono distinte in:

- intersezioni lineari a raso quando sono consentite manovre di intersezione
- intersezioni a rotatoria, quando i punti di intersezione sono eliminati.

La circolazione nel primo caso viene regolata con la disciplina della precedenza a destra, mentre nelle rotatorie con la disciplina della priorità all'anello.

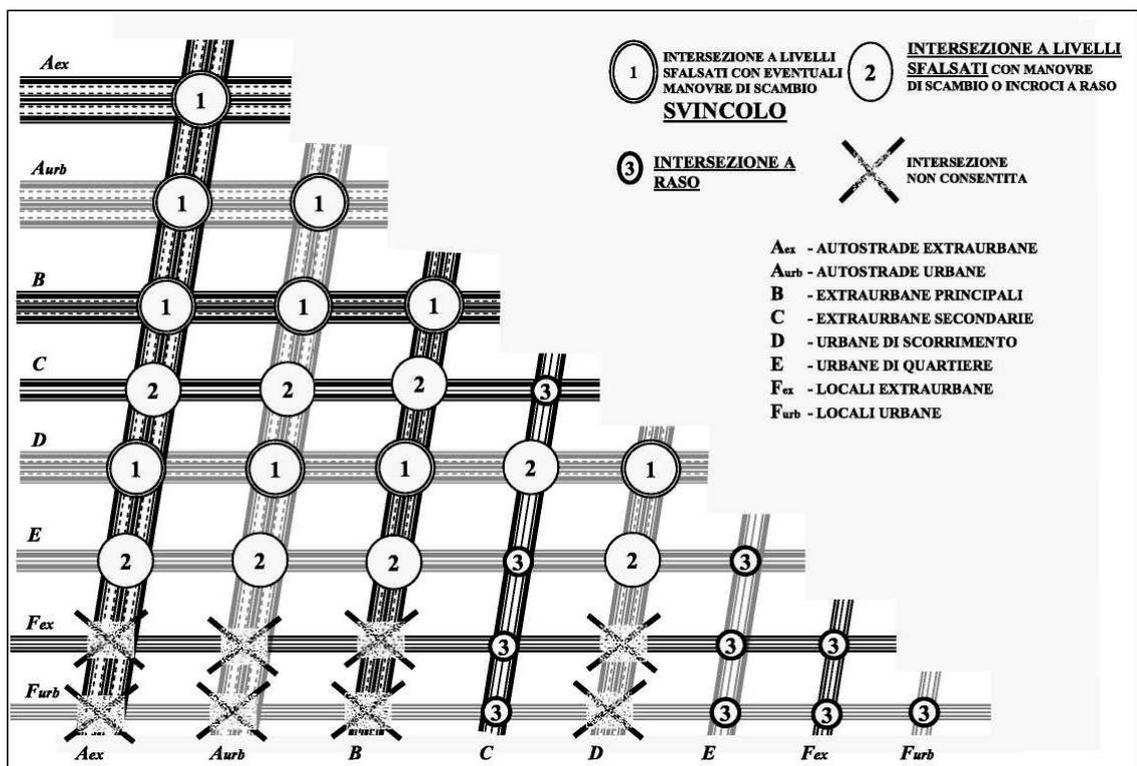


Figura 35: Organizzazione delle reti stradali e definizione delle intersezioni ammesse (come livelli minimi)

Per la definizione delle caratteristiche geometriche dell'intersezione, i principali elementi da stabilire riguardano:

- le dimensioni e la composizione delle piattaforme stradali
- le pendenze longitudinali, trasversali e composte delle rampe, delle aree pavimentate interessate dal transito dei veicoli e degli spazi marginali
- i raccordi almetrici
- le caratteristiche geometriche degli elementi componenti e specificatamente:

- i raggi delle curve circolari (in relazione alle velocità e alle pendenze trasversali della piattaforma)
- i parametri caratteristici degli elementi planimetrici a curvatura variabile
- le rotazioni delle sagome stradali e l'andamento dei cigli
- l'entità di eventuali allargamenti delle carreggiate (o delle aree di transito) per tutte le tipologie di veicoli ammessi a circolare nell'intersezione
- le caratteristiche delle curve di ciglio, necessarie per consentire l'iscrizione in curva dei veicoli pesanti e/o per migliorare le condizioni operative delle correnti di svolta
- la forma, le dimensioni e le caratteristiche delle isole di canalizzazione, ove presenti, dalle quali dipendono le caratteristiche di leggibilità e guida visiva delle traiettorie di approccio alle zone di incrocio
- la forma, le dimensioni e le caratteristiche degli elementi complementari e d'arredo
- gli eventuali altri elementi relativi alle caratteristiche geometriche dell'intersezione, anche per analogia con quanto previsto dal D.M. 5.11.2001.

I principali elementi componenti una intersezione sono:

- le rampe, che rappresentano i tronchi stradali di collegamento tra rami di un'intersezione a livelli sfalsati (svincolo)
- le corsie specializzate, destinate ai veicoli che si accingono ad effettuare la manovra di svolta a destra ed a sinistra, e che consentono di non arrecare eccessivo disturbo alla corrente di traffico principale. Possono essere di entrata (o di immissione), di uscita (o di diversione) e di accumulo per la svolta a sinistra, e possono essere realizzate nelle intersezioni lineari a raso e a livelli sfalsati secondo quanto previsto nella Tabella 20.

Tipo di strada principale	Tipologia di corsia specializzata		
	di uscita (o diversione)	di entrata (o immissione)	d'accumulo per svolta a sinistra
strade extraurbane			
A	Obbligatoria	Obbligatoria	Non ammessa
B	Obbligatoria	Obbligatoria	Non ammessa
C	Ammessa	Non ammessa	Ammessa
F	Ammessa	Non ammessa	Ammessa
strade urbane			
A	Obbligatoria	Obbligatoria	Non ammessa
D	Ammessa	Ammessa	Non ammessa
E	Ammessa	Ammessa	Ammessa
F	Ammessa	Ammessa	Ammessa

Tabella 20: Corsia specializzata in funzione del tipo di strada principale

L'inserimento delle corsie specializzate, nei casi in cui queste sono ammesse, deve essere valutato in relazione a criteri funzionali. Le corsie specializzate si sviluppano, generalmente, in affiancamento alla strada a cui afferiscono. In particolare le corsie di entrata e di accumulo assumono una configurazione parallela all'asse principale della strada; quelle in uscita possono essere realizzate con tipologia in parallelo, ovvero mediante l'adozione della soluzione “ad ago”.

Le corsie di entrata (o di immissione) sono composte dai seguenti tratti elementari (Figura 36):

- tratto di accelerazione di lunghezza $L_{a,e}$
- tratto di immissione di lunghezza $L_{i,e}$
- elemento di raccordo di lunghezza $L_{v,e}$

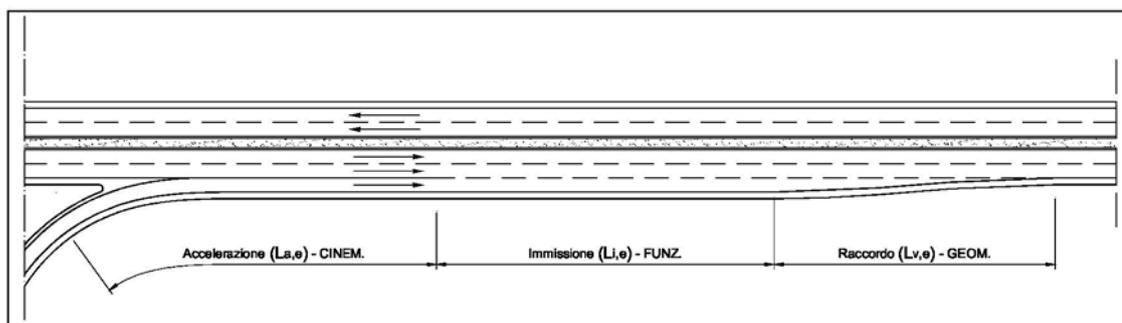


Figura 36: Le corsie di immissione

Le corsie di uscita (o di diversione) sono composte dei seguenti tratti elementari (Figura 37):

- tratto di manovra di lunghezza $L_{m,u}$

- tratto di decelerazione di lunghezza $L_{d,u}$ (comprendente metà della lunghezza del tratto di manovra $L_{m,u}$) parallelo all'asse principale della strada.

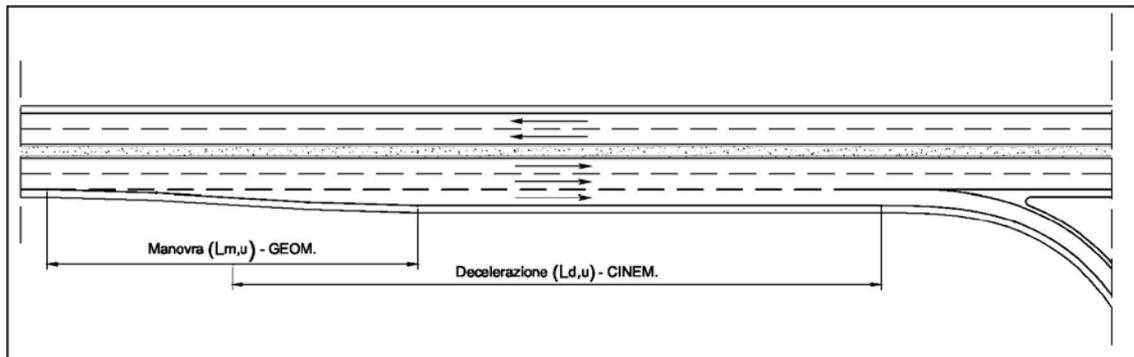


Figura 37: Le corsie di diversione

Le lunghezze $L_{a,e}$ e $L_{d,u}$ vanno dimensionate con criteri cinematici, le lunghezze $L_{v,e}$ e $L_{m,u}$ vanno dimensionate con criteri geometrici. La lunghezza $L_{i,e}$ va dimensionata con criteri funzionali.

Nello svincolo in esame non sono presenti corsie di accumulo.

Per determinare la lunghezza dei tratti di variazione cinematica in decelerazione o accelerazione si adotta la seguente espressione:

$$L = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2a}$$

dove:

L = la lunghezza necessaria per la variazione cinematica [m]

v_1 = la velocità di ingresso nel tratto di decelerazione o accelerazione [m/s]

v_2 = la velocità di uscita dal tratto di decelerazione o accelerazione [m/s]

a = l'accelerazione, positiva o negativa, assunta per la manovra [m/s^2].

I valori di v_1 , v_2 e a da inserire nella formula precedente sono i seguenti:

- per le corsie di decelerazione v_1 è uguale alla velocità di progetto del tratto di strada da cui provengono i veicoli in uscita, determinato dai diagrammi di velocità secondo quanto riportato nel D.M. 5.11.2001; per v_2 si assume la velocità di progetto corrispondente al raggio della curva di deviazione verso l'altra strada; per a si assumono i sotto indicati valori:
 - per strade di tipo A e B (quando per queste ultime si utilizzano valori di aderenza longitudinale corrispondente al tipo A): $3,0 \text{ m/s}^2$
 - per tutte le altre strade: 2 m/s^2

- per il tratto di accelerazione nelle corsie di entrata v_1 è uguale alla velocità di progetto della rampa nel punto di inizio del tratto di accelerazione della corsia d'entrata, mentre per v_2 si assume il valore corrispondente all'80% della velocità di progetto della strada sulla quale la corsia si immette; questa velocità va determinata dal diagramma di velocità secondo quanto riportato nel D.M. 5.11.2001. Si considera una accelerazione $a = 1,0 \text{ m/s}^2$.

La lunghezza del tratto di raccordo $L_{v,e}$ nelle corsie di entrata o di immissione si determina in funzione della velocità di progetto della strada sulla quale la corsia si immette, sulla base della Tabella 21:

Velocità di progetto V_p [km/h]	Lunghezza del tratto di raccordo $L_{v,e}$ [m]
$V_p > 80$	75
$V_p \leq 80$	50

Tabella 21: Lunghezza del tratto di raccordo $L_{v,e}$

La lunghezza del tratto di manovra di una corsia di uscita o di decelerazione si determina in base alla velocità di progetto del tratto di strada dal quale si dirama la corsia, secondo la Tabella 22:

Velocità di progetto V_p [km/h]	Lunghezza del tratto di manovra $L_{m,u}$ [m]
40	20
60	40
80	60
100	75
≥ 120	90

Tabella 22: Lunghezza del tratto di manovra $L_{m,u}$

La pendenza trasversale e longitudinale delle corsie di entrata e di uscita, è la stessa della strada principale in cui si immettono o dalla quale provengono.

4.2 INTERSEZIONI A ROTATORIA

La rotatoria è un tipo di sistemazione delle intersezioni a raso fra più strade, costituita da un anello stradale nel quale confluiscono i bracci dell'intersezione, il quale viene percorso dal flusso proveniente da ciascun braccio nel tratto compreso fra la sezione di immissione di quest'ultimo e quella del braccio di uscita. Caratteristica distintiva delle rotatorie rispetto ad altri tipi di intersezioni a raso è quella di non attribuire priorità ad alcuna delle strade che si intersecano: essa è pertanto particolarmente idonea in quelle situazioni in cui tali strade sono dello stesso livello gerarchico.

Si considerano tre tipologie fondamentali di rotatoria in base al diametro della circonferenza esterna (limite della corona rotatoria, in riferimento alla Figura 34):

- rotatorie convenzionali con diametro esterno compreso tra 40 e 50 m
- rotatorie compatte con diametro esterno compreso tra 25 e 40 m
- mini rotatorie con diametro esterno compreso tra 14 e 25 m.

Per sistemazioni con “circolazione rotatoria”, che non rientrano nelle tipologie su esposte, il dimensionamento e la composizione geometrica devono essere definiti con il principio dei tronchi di scambio tra due bracci contigui. In questi casi le immissioni devono essere organizzate con appositi dispositivi.

Un ulteriore elemento distintivo tra le tre tipologie fondamentali di attrezzatura rotatoria è rappresentato dalla sistemazione dell'isola circolare centrale che può essere resa in parte transitabile per le manovre dei veicoli pesanti, nel caso di mini rotatoria con diametro esterno compreso tra 25 e 18 m, mentre lo diventa completamente per quelle con diametro compreso fra 18 e 14 m; le rotatorie compatte sono invece caratterizzate da bordure non sormontabili dell'isola centrale.

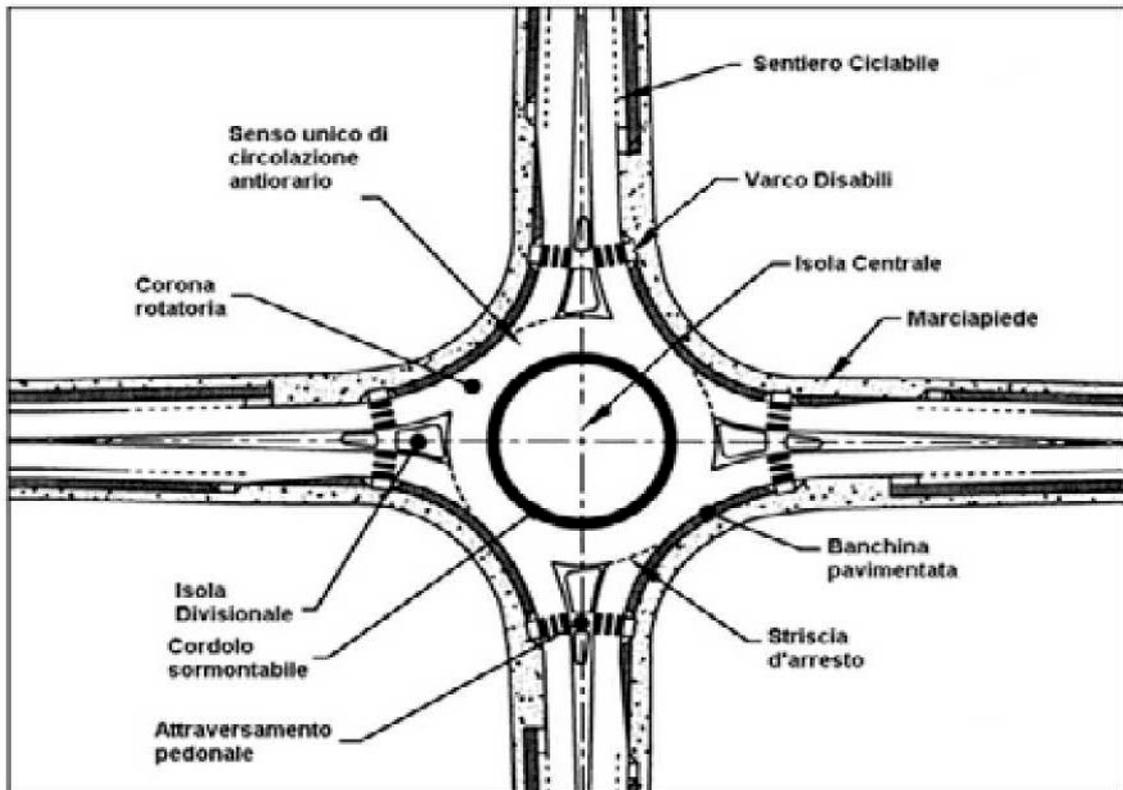


Figura 38: Schema dell'intersezione a rotatoria

In base alla classificazione delle intersezioni, in ambito extraurbano l'adozione di mini rotatorie viene limitata agli incroci di tipo F/F tra strade locali, mentre le rotatorie compatte sono consentite per gli incroci di tipo C/C, C/F, F/C.

Un'intersezione stradale risolta a rotatoria va accompagnata lungo i rami di approccio da idonea segnaletica, se necessario anche integrativa rispetto a quella di preavviso, e da eventuali ulteriori strumenti di regolazione della velocità.

Con riferimento alla Figura 38, si definiscono le larghezze degli elementi modulari delle rotatorie, secondo quanto indicato nella Tabella 23.

Elemento modulare	Diametro esterno della rotatoria (m)	Larghezza corsie (m)
Corsie nella corona rotatoria (*), per ingressi ad una corsia	≥ 40	6,00
	Compreso tra 25 e 40	7,00
	Compreso tra 14 e 25	7,00 - 8,00
Corsie nella corona rotatoria (*), per ingressi a più corsie	≥ 40	9,00
	< 40	8,50 - 9,00
Bracci di ingresso (**)		3,50 per una corsia 6,00 per due corsie
Bracci di uscita (*)	< 25	4,00
	≥ 25	4,50

(*) deve essere organizzata sempre su una sola corsia.

(**) organizzati al massimo con due corsie.

Tabella 23: Larghezza degli elementi modulari

Il criterio principale per definire la geometria delle rotatorie riguarda il controllo della deviazione delle traiettorie in attraversamento del nodo. Infatti, per impedire l'attraversamento di un'intersezione a rotatoria ad una velocità non adeguata, è necessario che i veicoli siano deviati per mezzo dell'isola centrale. La valutazione del valore della deviazione viene effettuata per mezzo dell'angolo di deviazione β (vedi Figura 39). Per determinare la tangente al ciglio dell'isola centrale corrispondente all'angolo di deviazione β , bisogna aggiungere al raggio di entrata $R_{e,2}$ un incremento b pari a 3,50 m. Per ciascun braccio di immissione si raccomanda un valore dell'angolo di deviazione β di almeno 45° .

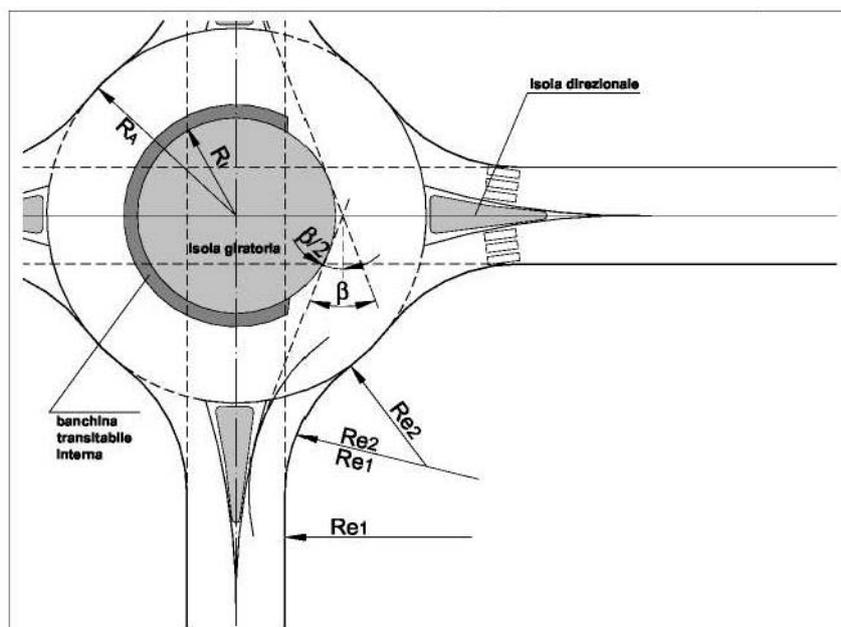


Figura 39: Elementi di progetto e tipizzazione delle rotatorie

Al fine di garantire il regolare funzionamento delle intersezioni a raso, e come principio di carattere più generale, occorre procedere sempre ad una gerarchizzazione delle manovre in modo da articolare le varie correnti veicolari principali e secondarie; ne consegue la necessità di introdurre segnali di precedenza o di stop per ogni punto di conflitto, evitando di porre in essere situazioni di semplice precedenza a destra senza regolazione segnaletica. Per le traiettorie prioritarie si devono mantenere all'interno dell'intera area di intersezione le medesime condizioni di visibilità previste dalla specifica normativa per le arterie stradali confluenti nei nodi; la presenza non può difatti costituire deroga agli standard usuali in rapporto alla visibilità del tracciato.

Per le manovre non prioritarie le verifiche vengono sviluppate secondo il criterio dei triangoli di visibilità relativi ai punti di conflitto di intersezione generati dalle correnti veicolari. Il lato maggiore del triangolo di visibilità viene rappresentato dalla distanza di visibilità principale, data dall'espressione:

$$D = v \times t$$

in cui:

- v = velocità di riferimento [m/s], pari al valore della velocità di progetto caratteristica del tratto considerato o, in presenza di elementi impositivi di velocità, dal valore prescritto dalla segnaletica
- t = tempo di manovra pari a:
 - in presenza di manovre regolate da precedenza: 12s
 - in presenza di manovre regolate da Stop: 6 s

Tali valori vanno incrementati di un secondo per ogni punto percentuale di pendenza longitudinale del ramo secondario superiore al 2%.

Il lato minore del triangolo di visibilità sarà commisurato ad una distanza di 20 m dal ciglio della strada principale per le intersezioni regolate da precedenza, e di 3 m dalla linea di arresto per quelle regolate da Stop.

All'interno del triangolo di visibilità non devono esistere ostacoli alla continua e diretta visione reciproca dei veicoli afferenti al punto di intersezione considerato. Si considerano ostacoli per la visibilità oggetti isolati aventi la massima dimensione planimetrica superiore a 0,8 m.

Negli incroci a rotatoria, i conducenti che si avvicinano alla rotatoria devono vedere i veicoli che percorrono l'anello centrale al fine di cedere ad essi la precedenza o eventualmente arrestarsi; sarà sufficiente una visione completamente libera sulla sinistra per un quarto dello sviluppo dell'intero anello, secondo la costruzione geometrica riportata in Figura 40, posizionando l'osservatore a 15 m dalla linea che delimita il bordo esterno dell'anello girettorio.

Nel caso in esame entrambe le rotatorie soddisfano le distanze di visibilità minime.

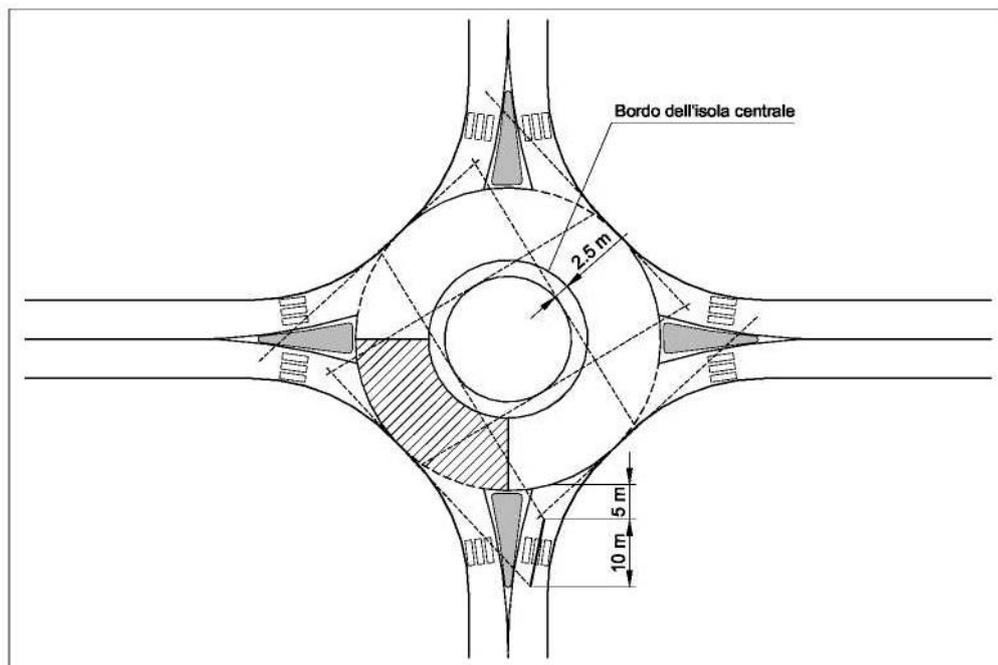


Figura 40: Campi di visibilità in incrocio a rotatoria

4.2.1 La capacità delle rotatorie

Si definisce capacità del braccio di una rotatoria il più piccolo valore del flusso sul braccio che determina la presenza permanente di veicoli in attesa di immettersi. Questo valore del flusso dipende evidentemente dal flusso che percorre l'anello, e quindi dall'insieme dei flussi in ingresso e in uscita da tutti bracci della rotatoria. Non è pertanto possibile calcolare la capacità di un braccio se non è nota l'intera matrice M origine/destinazione della rotatoria, il cui generico elemento (i,j) rappresenta il flusso in ingresso dal braccio che esce al braccio j , dalla quale si ricava la matrice di distribuzione N , il cui generico elemento (i,j) fornisce la frazione del flusso entrante da i che esce in j .

Per le rotatorie si hanno due diverse definizioni di capacità: la capacità semplice e la capacità totale. La capacità semplice è la somma delle capacità d'entrata dei rami afferenti la rotatoria, allorché uno dei rami risulta in condizioni di saturazione. Individua quel valore di flusso massimo che si può avere in entrata da ciascun ramo nell'istante in cui uno di essi si satura. La capacità totale è la somma delle capacità d'entrata dei rami afferenti ad una rotatoria, allorché tutti i rami risultano in condizioni di saturazione. Rispetto ad un dato scenario di ripartizione del traffico, rappresenta la somma dei valori dei flussi entranti da ogni ramo e che simultaneamente determinano la saturazione dei rami stessi (capacità semplice di ogni ramo).

Data a una matrice M origine/destinazione, sia δ il più piccolo scalare che moltiplicato per M dia luogo ad un insieme di flussi entranti e uscenti della rotatoria tale che la capacità, come precedentemente definita, sia raggiunta su uno dei bracci. Il prodotto di δ per il flusso entrante da questo braccio che si ricava dalla matrice M è la capacità semplice della rotatoria.

Data una matrice di distribuzione N si definisce capacità totale della rotatoria la somma dei flussi in ingresso e distribuendosi secondo N fra le diverse uscite determinano il raggiungimento contemporaneo della capacità su tutti bracci.

Il metodo di calcolo della capacità di una rotatoria è stato oggetto di studio in molti paesi negli ultimi decenni: pur essendo riconducibili tutti ad uno stesso schema fondamentale, differiscono in qualche misura fra loro, in parte perché diverse sono le tipologie di rotatoria su cui sono stati misurati i dati sperimentali, ma in misura prevalente per la diversità dei comportamenti degli automobilisti, i quali giocano un ruolo fondamentale nel determinare il modo di funzionare di una rotatoria.

Si riporta qui di seguito il metodo messo a punto in Francia nel 1987 dal SETRA, il quale ha il pregio di fornire, oltre al valore della capacità, anche altri elementi utili per la conoscenza del livello di servizio di una rotatoria. Sia la capacità che i flussi sono misurati in autovetture equivalenti per ora (eph). Per la trasformazione dei flussi di veicoli diversi dalle autovetture in eph si possono adottare i seguenti coefficienti di conversione proposti dalle norme svizzere

Tipo di veicolo	Coefficiente di conversione
1 ciclo o motociclo sull'anello	0.8 autovetture

1 ciclo o motociclo in ingresso	0.2 autovetture
1 veicolo pesante	2.0 autovetture
1 autobus	2.0 autovetture

Tabella 24: Coefficienti di conversione in funzione del tipo di veicolo

Il metodo del SETRA fa intervenire nel calcolo della capacità, oltre al traffico che percorre l'anello in corrispondenza di una immissione, anche il traffico che si allontana all'uscita immediatamente precedente; per cui definisce una relazione lineare fra capacità e un traffico complessivo di disturbo, nel quale intervengono sia il flusso che percorre l'anello sia quello in uscita precedentemente definito.

Si consideri la Figura 41 dove è rappresentato il particolare di una rotatoria in corrispondenza di un braccio.

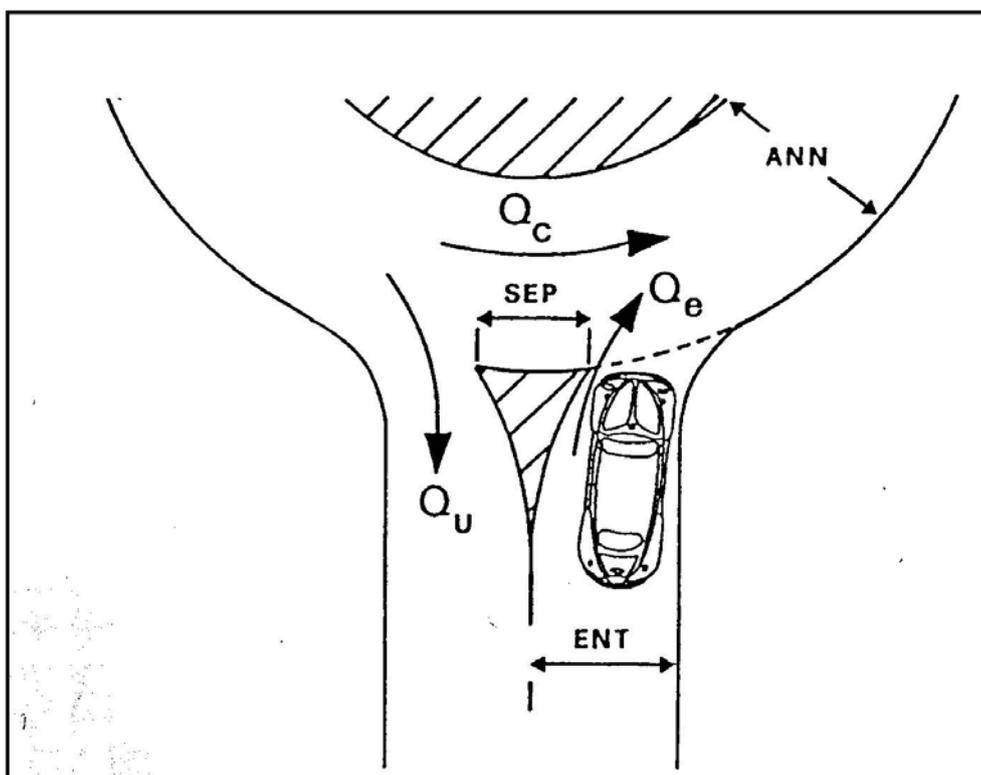


Figura 41: Particolare di un braccio di rotatoria

Sia:

- Q_c = flusso che percorre l'anello all'altezza della immissione [eph]
- Q_e = flusso entrante [eph]
- Q_u = flusso uscente [eph]
- SEP = larghezza dell'isola spartitraffico all'estremità del braccio [m]

- ANN = larghezza dell'anello [m]
- ENT = larghezza della semicarreggiata del braccio misurata dietro il primo veicolo fermo all'altezza della linea del "dare precedenza" [m].

Sia K la capacità del braccio, cioè il minimo valore di Q_e che dà luogo alla presenza permanente di veicoli in attesa di immettersi. Il metodo del SETRA definisce K come funzione delle caratteristiche geometriche e di traffico innanzi definite:

$$K = f(Q_c, Q_e, SEP, ANN, ENT) \quad (1)$$

La procedura di calcolo della capacità si compone di tre fasi:

1) si calcola il traffico uscente equivalente Q'_u come funzione di Q_u e di SEP:

$$Q'_u = Q_u \frac{15 - SEP}{15} \quad [\text{eph}] \quad (2)$$

assumendo $Q'_u = 0$ se $SEP \geq 15$ m

2) si determina il traffico di disturbo Q_d come funzione di Q_c , di recarsi al Q'_u e di ANN:

$$Q_d = \left(Q_c + \frac{2}{3} Q'_u \right) [1 - 0,085 (ANN - 8)] \quad [\text{eph}] \quad (3)$$

3) si calcola quindi la capacità K del braccio mediante la relazione:

$$K = (1330 - 0,7 Q_d) [1 + 0,1 (ENT - 3,5)] \quad [\text{eph}]. \quad (4)$$

Da quest'ultima equazione si vede che il parametro geometrico fondamentale per il calcolo della capacità è la larghezza ENT rispetto ad una larghezza standard di 3,5 m. Tenendo conto di ciò, si usa definire un flusso entrante equivalente Q'_e , il quale eguaglia la capacità di un braccio largo 3,5 m quando questa viene raggiunta dal flusso Q_e su un braccio della rotatoria avente la larghezza effettiva ENT:

$$Q'_e = \frac{Q_e}{1 + 0,1 (ENT - 3,5)} \quad [\text{eph}]. \quad (5)$$

Il traffico equivalente Q'_e viene utilizzato nel calcolo di alcune caratteristiche di livello di servizio di una rotatoria, come si vedrà più avanti.

Dalla (2) e dalla (3) si rileva che la larghezza ANN dell'anello influisce sul valore della capacità attraverso la relazione che esso ha con l'azione di disturbo prodotto dal traffico che percorre l'anello. L'influenza del traffico in uscita sull'azione di disturbo

è invece determinata dalla larghezza SEP dell'isola spartitraffico: tale influenza è nulla quando $SEP \geq 15$ m. È infine da rilevare che la larghezza dell'isola spartitraffico e quelle dei bracci all'altezza delle emissioni determinano lo sviluppo della rotatoria e quindi il diametro dell'anello.

Si consideri una rotatoria ad m bracci di cui sono state definite le caratteristiche geometriche, e sia M la sua matrice origine/destinazione, tale che $\rho_{i,j}$ è la frazione del flusso $Q_{e,i}$ entrante dal braccio i che esce al braccio j . I valori dei flussi $Q_{c,i}$ sull'anello che transitano dinanzi ai vari bracci $i \in [1, m]$ (i bracci sono numerati in sequenza antioraria) sono:

$$\begin{aligned} Q_{c,1} &= Q_{e,m} (\rho_{m,2} + \dots + \rho_{m,m-1}) + Q_{e,m-1} (\rho_{m-1,2} + \rho_{m-1,m-2}) + \dots + Q_{e,3} \rho_{3,2} \\ &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ Q_{c,m} &= Q_{e,m-1} (\rho_{m-1,1} + \dots + \rho_{m-1,m-2}) + Q_{e,m-2} (\rho_{m-2,2} + \rho_{m-2,m-3}) + \dots + Q_{e,2} \rho_{2,1} \end{aligned} \quad (6)$$

I flussi $Q_{u,i}$ uscenti dai bracci $i \in [1, m]$ sono:

$$\begin{aligned} Q_{u,1} &= Q_{e,2} \rho_{2,1} + \dots + Q_{e,m} \rho_{m,1} \\ &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ Q_{u,m} &= Q_{e,1} \rho_{1,m} + \dots + Q_{e,m-1} \rho_{m-1,m} \end{aligned} \quad (7)$$

Sia δ_i quello scalare tale che, moltiplicato per la matrice M e quindi per il vettore dei flussi entranti nella rotatoria, dà luogo ad un flusso $\delta_i Q_{e,i}$ entrante dal braccio i uguale alla capacità K_i del braccio che si ricava dalla (4). Il valore di δ_i si ricava facilmente se in essa si pone $K = \delta_i Q_{e,i}$ e $Q_d = \delta_i Q_{d,i}$, dove $Q_{d,i}$ si ottiene dalla (2) e dalla (3) ponendo $Q_u = Q_{u,i}$ e $Q_c = Q_{c,i}$, mentre $Q_{u,i}$ e $Q_{c,i}$ si ricavano dalla (6) e dalla (7) in funzione dei flussi entranti e uscenti dagli altri bracci.

Il calcolo di δ_i viene ripetuto per tutti i bracci della rotatoria, e sia δ_j il più piccolo dei valori così ottenuti, relativo al braccio j . Risulta $K_j = \delta_j Q_{e,j}$ la capacità semplice della rotatoria, la quale viene raggiunta sul solo braccio J quando la matrice M , e quindi i flussi di ingresso, sono moltiplicati per δ_j , mentre i flussi in ingresso tra gli altri bracci della rotatoria si mantengono al di sotto della capacità.

La capacità totale della rotatoria si calcola determinando il valore dei flussi di ingresso che, distribuendosi fra le varie uscite secondo i coefficienti $\rho_{i,j}$ che si ricavano dalla matrice M , determinando il contemporaneo raggiungimento della

capacità su tutti bracci. Questi flussi in ingresso si ricavano risolvendo il sistema di m equazioni lineari nelle m incognite $Q_{e,i}$ ottenuto scrivendo la (4) per i singoli bracci, e ponendo in essa $K = Q_{e,i} \forall i \in [1, m]$, mentre Q_d viene espressa in funzione di $Q_{e,j} \forall i \neq 1$ utilizzando la (2), la (3), la (6) e la (7). La capacità totale Q della rotatoria è quindi data da $Q = \sum_{i=1}^m Q_{e,i}$.

I valori $Q_{e,i}$ di capacità dei singoli bracci che concorrono a formare la capacità totale vengono posti a base della progettazione di una rotatoria. Poiché flussi in ingresso di entità uguale ai valori di capacità così definiti determinerebbero la presenza permanente di veicoli in attesa ai bracci, e quindi code di notevole lunghezza, si fa di solito riferimento ad una capacità pratica dei singoli bracci data da $K_i = Q_{e,i} - 150$, ovvero $K_i = 0,8 Q_{e,i}$.

Le caratteristiche di livello di servizio a cui si fa riferimento nel progetto delle rotatorie sono quelle stesse che vengono considerate nello studio di una qualsiasi intersezione a raso: il tempo medio di attesa dei veicoli alle immissioni ed un adeguato percentile della lunghezza della coda. Questi elementi possono essere calcolati con lo stesso modello teorico utilizzato per le altre intersezioni a raso, basato sul concetto di intervallo critico precedentemente definito, le cui variabili sono il flusso in entrata e quello che percorre l'anello.

Con un modello di questo tipo sono stati ricavati dal SETRA i diagrammi delle Figure 42 e 43, nei quali sono riportati rispettivamente i tempi di attesa ed il 99° percentile della lunghezza di coda su un braccio di rotatoria in funzione del traffico di disturbo Q_d sull'anello e per diversi valori del flusso entrante equivalente Q'_e . Questi diagrammi rendono il calcolo delle caratteristiche del livello di servizio di una rotatoria estremamente facile.

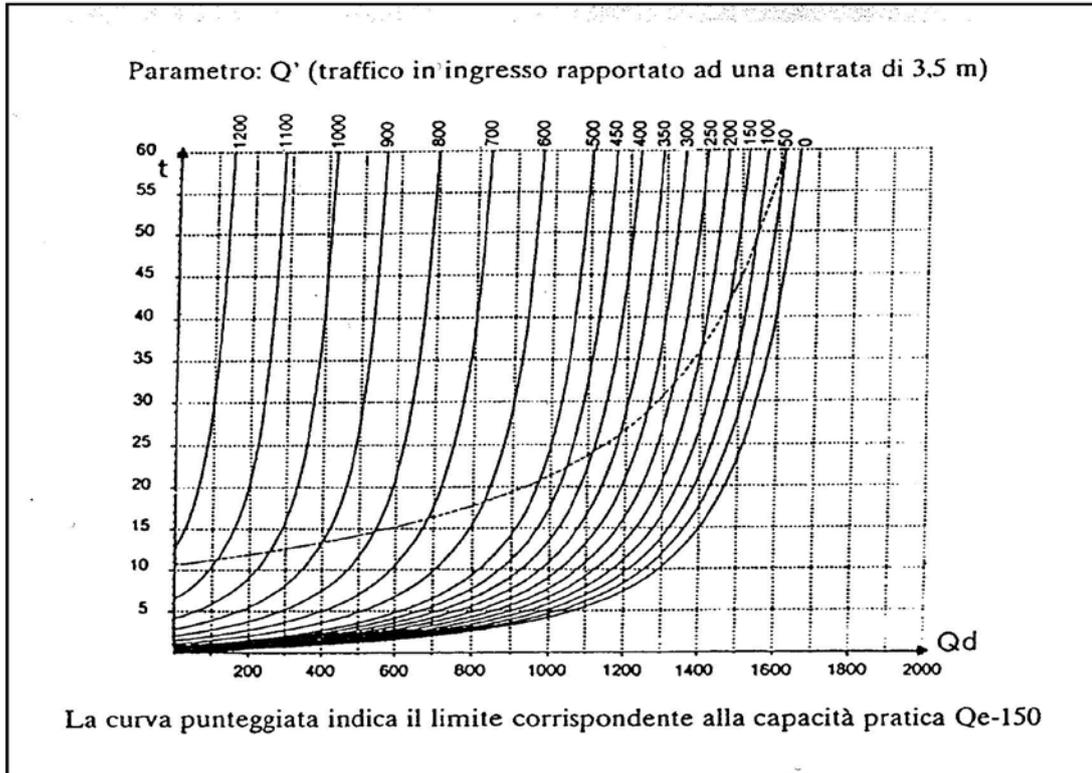


Figura 42: Tempi medi di attesa su un braccio di rotatoria in secondi

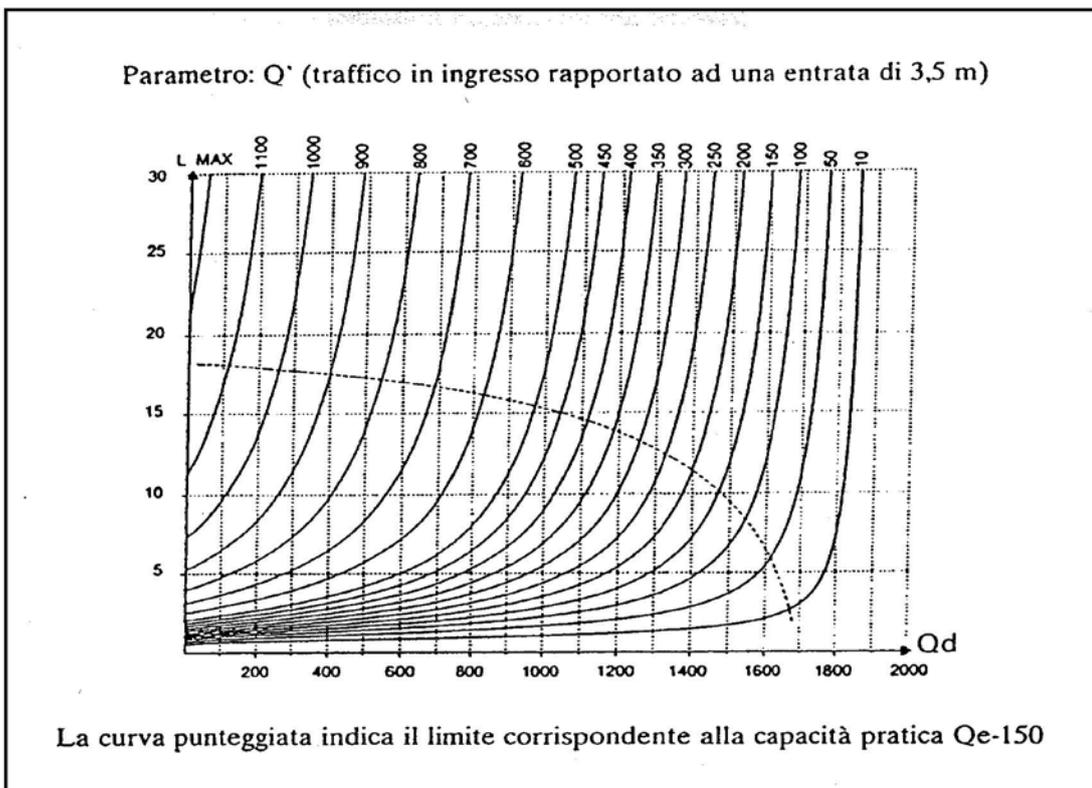


Figura 43: 99° percentile del numero di veicoli in attesa su un braccio di rotatoria

Infatti servendosi del tempo di attesa medio, determinato separatamente per ciascuna entrata, si può determinare il livello di servizio facendo riferimento alla Tabella seguente (estratta dalla Norma Svizzera SNV 640022) in cui sono riportati dei valori limite; il livello di servizio F, non si determina servendosi del tempo di attesa medio, bensì si ha tale livello quando il flusso in ingresso supera la capacità. Il braccio che presenta il livello di servizio più basso è determinante per l'intera rotatoria.

Livello di servizio	Tempo d'attesa medio
A	≤ 10 s
B	≤ 15 s
C	≤ 25
D	≤ 45
E	> 45
F	flusso in ingresso superiore alla capacità

Tabella 25: Determinazione del livello di servizio per mezzo dei valori limite del tempo medio di attesa

Nel dettaglio il significato attribuito a ciascun livello è il seguente:

- Livello A: la circolazione è libera, cioè ogni veicolo si muove senza nessun vincolo ed in libertà assoluta di manovra entro la corrente, massimo comfort, flusso stabile
- Livello B: il tipo di circolazione può considerarsi ancora libera ma si riscontra una modesta riduzione della velocità e le manovre cominciano a risentire della presenza degli altri utenti, comfort accettabile, flusso stabile
- Livello C: la presenza degli altri veicoli determina vincoli sempre maggiori nel mantenere la velocità desiderata e nella libertà di manovra, si riduce il comfort rimanendo il flusso ancora stabile
- Livello D: si restringe il campo di scelta della velocità e la libertà di manovra, si ha elevata densità ed insorgono problemi di disturbo, si abbassa il comfort di marcia ed il flusso può divenire instabile
- Livello E: il flusso si avvicina alla capacità compatibile e si riducono velocità e libertà di manovra, il flusso diviene instabile in quanto anche modeste perturbazioni possono causare fenomeni di congestione

- Livello F: flusso forzato con marcia del tipo stop-and-go, la velocità si abbassa e le portate risultano inferiore alla capacità, si verificano facilmente condizioni instabili di deflusso sino alla paralisi.

4.2.2 DESCRIZIONE TECNICA DELLE ROTATORIE DI PROGETTO

Per comodità chiameremo le due rotatorie appartenenti allo svincolo stradale progettato Anello 1 e Anello 2.

Per quanto riguarda il primo anello, si è scelto un diametro esterno di 50 m, poiché raccoglie i flussi di traffico provenienti dalla nuova Pedemontana e dalla SS 81, una delle arterie più trafficate dell'intera regione Abruzzo, mentre la larghezza della corsia interna misura 6 m. È composta da cinque bracci: la strada statale SS 81 (1) e SS 81 (2), la strada F extraurbana N. 76 e Contrada Cipollaro e la rampa Sud-Est di sola uscita dalla rotatoria che si immette direttamente sulla Pedemontana.

Come indicato in normativa le intersezioni a rotatoria devono essere verificate dal punto di vista dell'angolo di deviazione il quale non deve essere inferiore a 45°. Questa è dato dal fatto che gli utenti della strada che circolano all'interno della rotatoria non devono essere in grado di percorrere una traiettoria troppo rettilinea e quindi percorrere l'intersezione con una velocità troppo elevata. Di seguito vengono riportate le verifiche effettuate.

Ramo di ingresso	Ramo di uscita	Angolo di deflessione [°]
SS 81 (1)	SS 81 (2)	67
CONTRADA	N. 76	82
SS 81 (2)	SS 81 (1)	83
N. 76	CONTRADA	67
CONTRADA	SUD-EST	29

Tabella 26: Verifica dell'angolo di deviazione per l'Anello 1

Per quanto riguarda l'Anello 1, i bracci rispettano la normativa con angoli di deviazione superiori a 45°. L'unica eccezione riguarda il braccio Contrada Cipollaro, il quale non è stato considerato un problema per il fatto che i flussi di traffico sono inferiori a quelli degli altri rami.

Per il nuovo tratto di strada e per tutti i tratti di cui non si conoscono i dati di traffico, si è utilizzata la normativa (D.M. 5/11/2001) che come valore di portata di servizio

per una strada di tipo F extraurbana prevede 450 autoveicoli equivalenti l'ora, mentre per una C1 extraurbana ne prevede 600.

Di seguito vengono mostrate le caratteristiche geometriche e funzionali dell'Anello 1, in particolare il valore della capacità semplice e quello totale della rotatoria, ipotizzando che i veicoli provenienti dalla N. 76, appena usciti dalla Pedemontana, non abbiano intenzione di rientrare percorrendo la rampa Sud-Est e che quelli diretti verso Contrada Cipollaro siano piuttosto inferiori rispetto alle altre uscite.

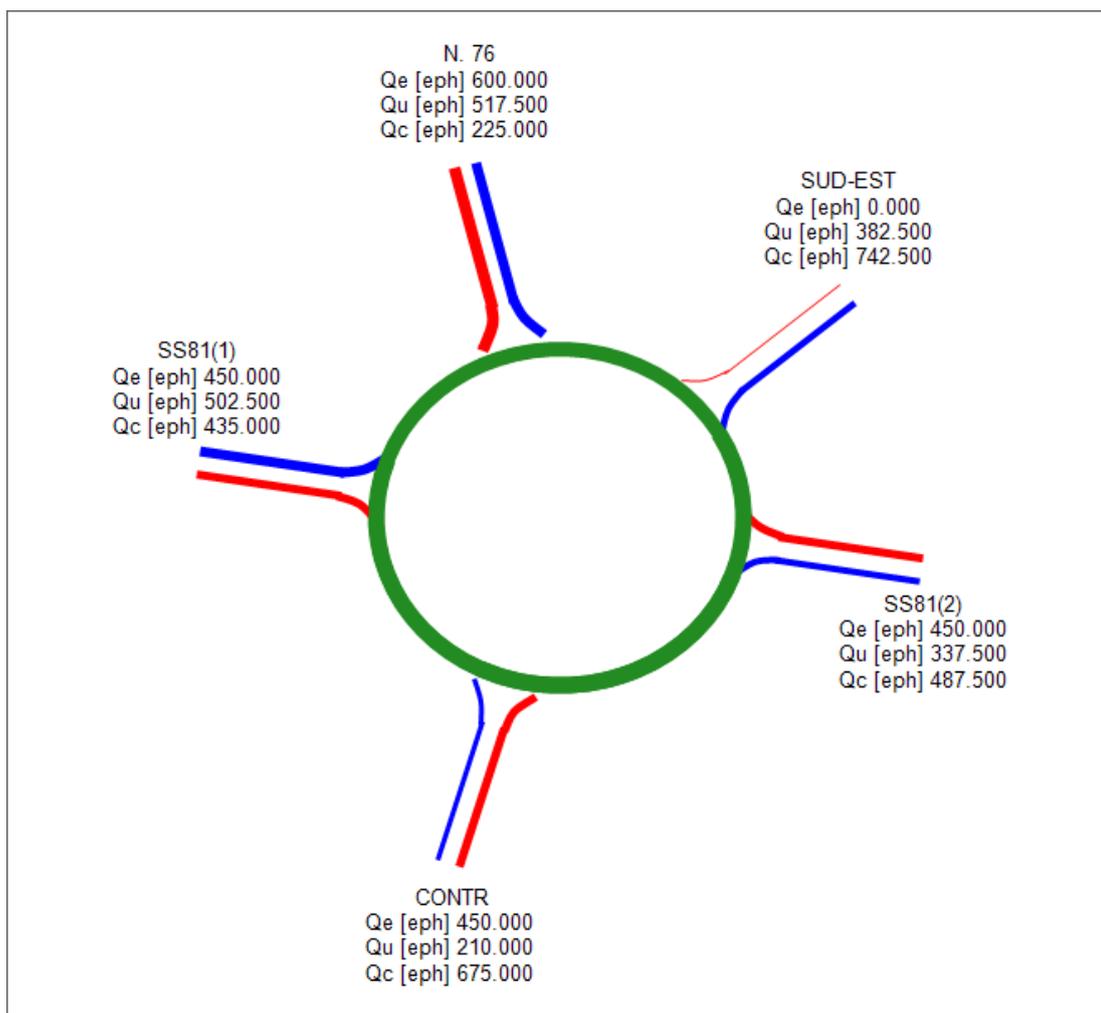


Figura 44: Diagramma di flusso dell'Anello 1

Geometria | Distribuzione e flussi | **Setra** | Kimber | Simula

Caratteristiche geometriche rotatoria e innesti

Raggio [m]:

ANN [m]:

Indice	Nome	Angolo
Ramo	SS81(2)	261.5
Ramo	SS81(1)	81.5
Ramo	CONTR	162.5
Ramo	SUD-EST	308
Ramo	N. 76	15

SEP [m]	ENT [m]
10.19	3.50
10.80	3.50
10.15	3.50
12.39	3.50
11.09	3.50

Geometria | Distribuzione e flussi | **Setra** | Kimber | Simula

Matrice di distribuzione - Percentuali [%]

Rami di entrata

Periodo di analisi T[h]:

	SS81(2)	SS81(1)	CONTR	SUD-EST	N. 76
SS81(2)	0.00	20.00	15.00	0.00	30.00
SS81(1)	30.00	0.00	15.00	0.00	50.00
CONTR	10.00	10.00	0.00	0.00	20.00
SUD-EST	30.00	20.00	35.00	0.00	0.00
N. 76	30.00	50.00	35.00	0.00	0.00
Verifica 100%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rami di uscita	Flussi entranti	Flussi uscenti	Flussi anello Qc
	450.0	337.5	487.5
	450.0	502.5	435.0
	450.0	210.0	675.0
	0.0	382.5	742.5
	600.0	517.5	225.0
	1,950.0	1,950.0	

Geometria | Distribuzione e flussi | **Setra** | Kimber | Simula

Capacità dei bracci

Capacità totale della rotatoria

Livello di servizio

Nome	Q _e [ep/h]	Q _u [ep/h]	Q _l [ep/h]	K' [ep/h]	δ	K [ep/h]	Q _{e,k} [ep/h]	AK [ep/h]
SS81(2)	450.0	108.3	654.9	8/71.6	1.46	743.7	5/75.6	168.1
SS81(1)	450.0	140.8	618.8	8/96.8	1.51	776.0	5/75.6	200.4
CONTR	450.0	67.8	842.7	7/40.1	1.28	575.6	5/75.6	0.0
SUD EST	0.0	68.7	920.7	6/85.5	2.06	505.7	0.0	505.7
N. 76	600.0	134.9	368.5	1/07...	1.55	1,000.1	7/67.4	232.7

Q _e [ep/h]	x	tm [s]	Lm	Lm [m]	Lmax	L _{max} [m]	LOS
608.7	0.52	13.5	1.7	10.1	3.0	18.2	B
701.2	0.50	13.0	1.6	9.7	2.9	17.2	B
455.5	0.61	17.1	2.1	12.8	4.2	25.0	C
490.1	0.00	10.3	0.0	0.0	0.0	0.0	B
1,00...	0.56	12.5	2.1	12.5	3.6	21.6	B

δ minimo: 1.28 Q_{e,k} tot [ep/h]: 2191.1 **Ctot [ep/h]: 3260.1**

Capacità semplice della rotatoria [ep/h] = K (il valore evidenziato nella tabella) Capacità totale della rotatoria [ep/h] = Ctot (il valore)

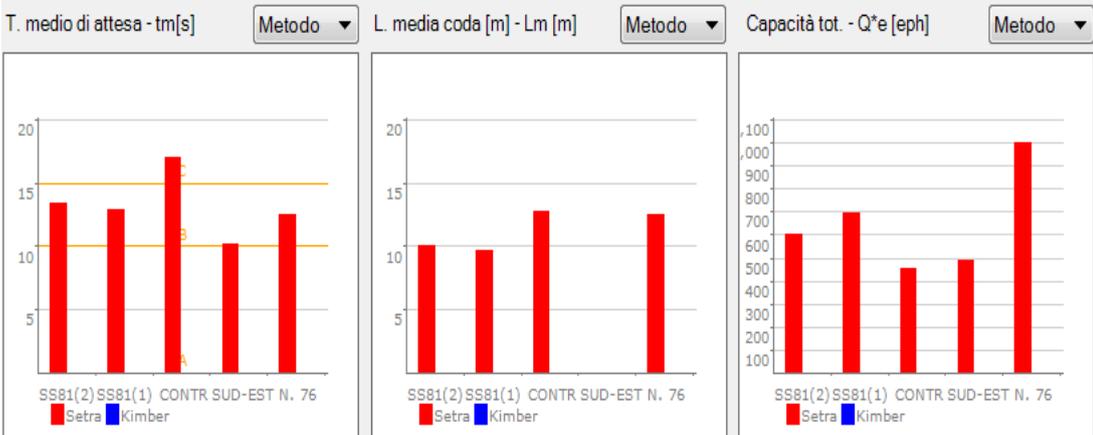


Tabella 27: Verifica della capacità dell'Anello 1 col metodo Setra

I risultati così ottenuti per l'Anello 1 dimostrano un valore della capacità totale superiore a quella semplice, mantenendo inoltre livelli di servizio accettabili su tutti i rami.

Per quanto riguarda l'Anello 2, si è scelto un diametro esterno di 40 m composto da quattro bracci: la strada C1 extraurbana N. 76, la strada F extraurbana N. 76 (2), la rampa Nord-Est e quella Nord-Ovest. Di seguito vengono riportate le verifiche effettuate riguardanti l'angolo di deflessione.

Ramo di ingresso	Ramo di uscita	Angolo di deflessione [°]
N. 76	N. 76 (2)	50
NORD-EST	NORD-OVEST	95
N. 76 (2)	N. 76	79

Tabella 28: Verifica dell'angolo di deflessione per l'Anello 2

Come si può vedere dalla Tabella 28, le verifiche vengono superate su tutti i rami. Di seguito vengono mostrate le caratteristiche geometriche e funzionali dell'Anello 2, in particolare il valore della capacità semplice e quello totale della rotatoria, ipotizzando che i veicoli provenienti dalla rampa Nord-Est, appena usciti dalla Pedemontana, non abbiano intenzione di rientrare percorrendo la rampa Nord-Ovest e che quelli diretti verso la strada F extraurbana N. 76 (2) siano piuttosto inferiori rispetto alle altre uscite.

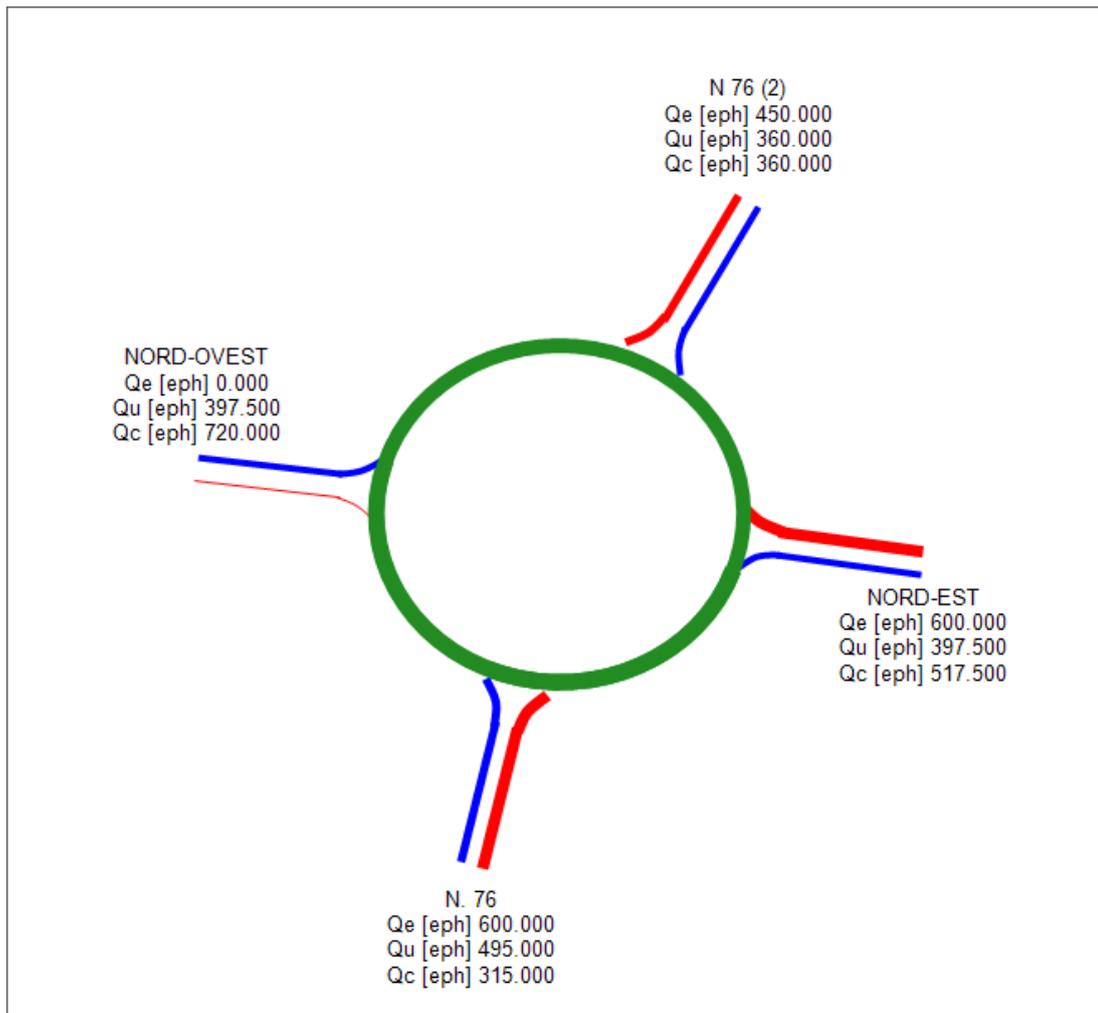


Figura 45: Diagramma di flusso dell'Anello 2

Geometria | Distribuzione e flussi | Setra | Kimbor | Simula

Caratteristiche geometriche rotatoria e innesti

Raggio [m]: 20.0

ANN [m]: 6.00

Indice	Nome	Angolo
Ramo N. 76	N. 76	166
Ramo NORD-EST	NORD-EST	262
Ramo NORD-OVEST	NORD-OVEST	83
Ramo N 76 (2)	N 76 (2)	-31

Setra | Kimbor

SEP [m]	ENT [m]
8.32	3.50
8.10	3.50
8.28	3.50
8.28	3.50

Geometria Distribuzione e flussi **Setra** Kimber Simula

Matrice di distribuzione - Percentuali [%]

Rami di entrata

	N. 76	PED-N.76 I	N.76-PED II	N.76 (2)
N. 76	0.00	60.00	0.00	30.00
NORD-EST	40.00	0.00	0.00	35.00
NORD-OVEST	40.00	0.00	0.00	35.00
N.76 (2)	20.00	40.00	0.00	0.00
Verifica 100%	100.00	100.00	100.00	100.00

Rami di uscita

	Flussi entranti	Flussi uscenti	Flussi anello Qc
	600.0	495.0	315.0
	600.0	397.5	517.5
	0.0	397.5	720.0
	450.0	360.0	360.0
	1,650.0	1,650.0	

Periodo di analisi T[h]

Geometria Distribuzione e flussi **Setra** Kimber Simula

Nome	Capacità dei bracci								Capacità totale della rotatoria			Livello di servizio				
	Q'e [ep/h]	Q'u [ep/h]	Qd [ep/h]	K' [ep/h]	δ	K [ep/h]	Qe,k [ep/h]	ΔK [ep/h]	Q'e [ep/h]	x	tm [s]	Lm [m]	Lm [m]	Lmax [m]	Lmax [m]	LOS
N. 76	600.0	220.4	540.5	951.7	1.36	882.2	710.2	172.0	632.0	0.63	15.0	2.5	15.0	4.6	27.8	C
NORD-EST	600.0	182.8	748.1	806.4	1.18	710.2	710.2	0.0	602.3	0.74	21.2	3.5	21.2	6.9	41.3	C
NORD-OVEST	0.0	178.7	981.8	642.7	1.94	516.5	0.0	516.5	500.0	0.00	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	B
N.76 (2)	450.0	161.3	547.0	947.1	1.60	876.7	532.6	344.1	944.1	0.48	12.2	1.5	9.1	2.6	15.6	B

δ minimo: 1.18 Qe,k tot [ep/h]: 1953.0 Ctot [ep/h]: **2768.5**

Capacità semplice della rotatoria [ep/h] = K (il valore evidenziato nella tabella) Capacità totale della rotatoria [ep/h] = Ctot (il valore)

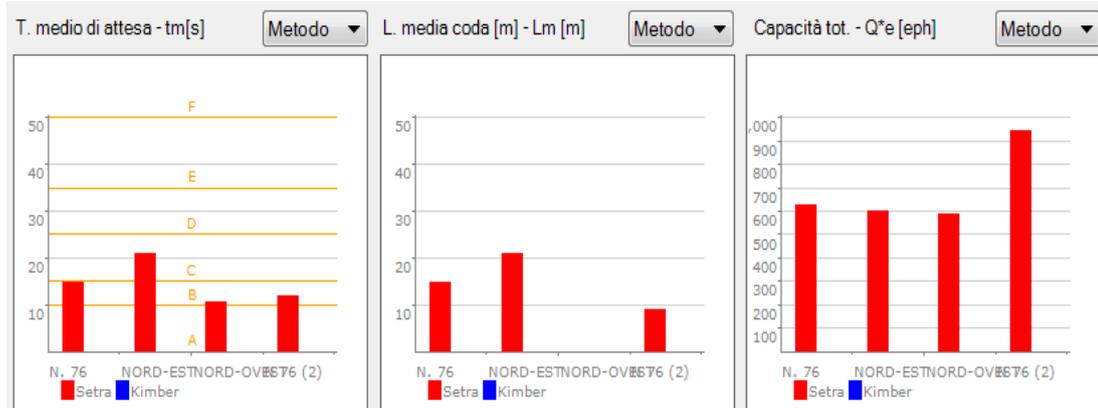


Tabella 29: Verifica della capacità dell'Anello 2 col metodo Setra

I risultati così ottenuti per l'Anello 2 dimostrano un valore della capacità totale superiore a quella semplice, mantenendo inoltre livelli di servizio accettabili su tutti i rami.

4.3 INTERSEZIONI A LIVELLI SFALSATI

Le possibili tipologie di rampe e le corrispondenti tipiche composizioni geometriche planimetriche sono indicate genericamente nella Figura 46 e nella Figura 47.

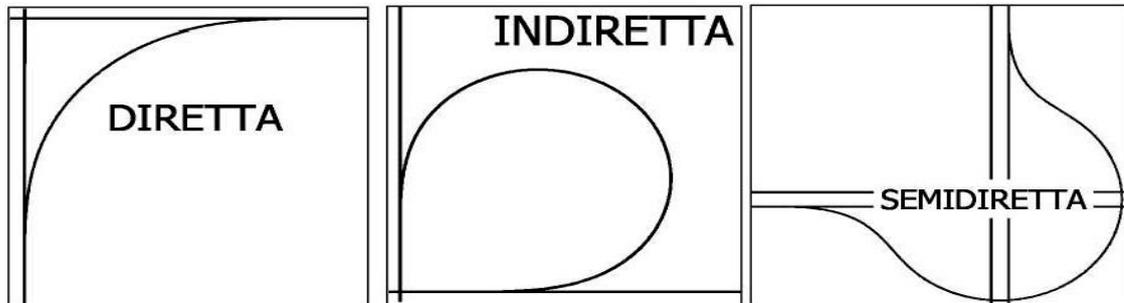


Figura 46: Possibili tipologie di rampe

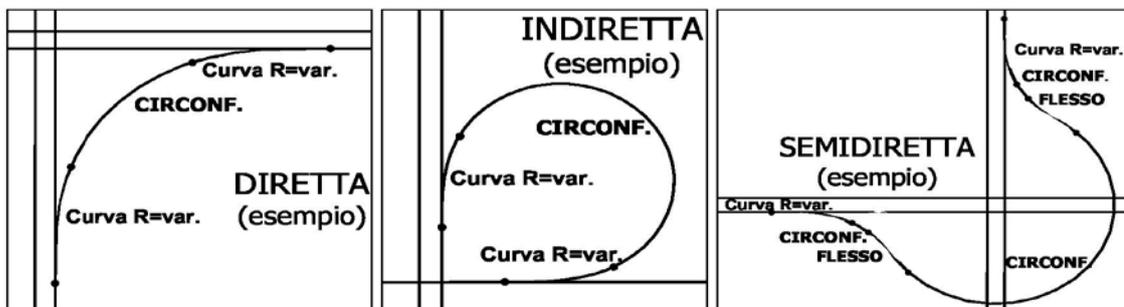


Figura 47: Tipiche composizioni geometriche planimetriche

Per l'inserimento delle curve a raggio variabile (clotoidi) va fatto riferimento ai criteri contenuti nel D.M 5.11.2001. Per i tratti di decelerazione delle uscite ad ago, e nei casi in cui il tronco di accelerazione nelle emissioni si sviluppi parzialmente con un elemento a curvatura variabile, il progettista dovrà scegliere opportunamente una curva a raggio variabile, anche composita, prescindendo dalle indicazioni del citato D.M..

L'intervallo di velocità di progetto da adottarsi per ciascuna tipologia prevista è indicato nella Tabella 30. Per velocità di progetto delle rampe si intende quella dell'elemento rampa con esclusione dei dispositivi di immissione e/o decelerazione.

Tipi di rampe	Intersezioni Tipo 1 (fig.3), escluse B/B, D/D, B/D, D/B.		Intersezioni Tipo 2 (fig.3), e B/B, D/D, B/D, D/B.	
Diretta	50-80 km/h		40-60 km/h	
Semidiretta	40-70 km/h		40-60 km/h	
Indiretta	in uscita da A	40 km/h	in uscita dalla strada di livello ger. superiore	40 km/h
	in entrata su A	30 km/h	in entrata sulla strada di livello ger. superiore	30 km/h

Tabella 30: Velocità di progetto per le varie tipologie di rampe

Per le rampe indirette il valore indicato in Tabella 30 rappresenta la velocità minima di progetto, mentre la velocità di progetto massima si assume pari a quella della corrispondente rampa semidiretta.

Rispetto alla velocità di progetto dovrà essere verificata la sussistenza, lungo le rampe, di visuali libere commisurate alla distanza di visibilità per l'arresto ai sensi del D.M. 5.11.2001.

I parametri fondamentali per il disegno geometrico delle rampe sono indicati nella Tabella 31. Al raggio planimetrico minimo è sempre associata la pendenza massima del 7%. Per raggi superiori la pendenza sarà definita congruentemente con quanto indicato nel D.M. 5.11. 2001.

Velocità di progetto	(km/h)	30	40	50	60	70	80
Raggio planimetrico minimo	(m)	25	45	75	120	180	250
Pendenza max in salita	(%)	10	7,0		5,0		
Pendenza max in discesa	(%)	10	8,0		6,0		
Raggi minimi verticali convessi	(m)	500	1000	1500	2000	2800	4000
Raggi minimi verticali concavi	(m)	250	500	750	1000	1400	2000
Distanza di visuale minima	(m)	25	35	50	70	90	115

Tabella 31: Caratteristiche planoaltimetriche delle rampe

Le larghezze minime degli elementi modulari degli svincoli sono determinate in funzione della strada di livello gerarchico superiore, tra quelle confluenti nel nodo. Fatti salvi gli eventuali allargamenti di corsia necessari in relazione ai valori dei raggi planimetrici adottati, tali larghezze sono indicate nella Tabella 32. Per le larghezze degli elementi marginali si rinvia a quanto contenuto nel D.M. 5.11.2001,

assimilando le rampe dirette e semidirette delle intersezioni di tipo 1 a strade di tipo C e tutte le altre a strade extraurbane di tipo F.

Strade extraurbane				
elemento modulare	Tipo di strada principale	Larghezza corsie (m)	Larghezza banchina in destra (m)	Larghezza banchina in sinistra (m)
Corsie specializzate di uscita e di immissione	A	3,75	2.50	-
	B	3,75	1.75	-
Rampe monodirezionali	A	1 corsia: 4,00	1.00	1.00
		2 corsie: 2 x 3,50		
	B	1 corsia: 4,00	1.00	1.00
		2 corsie: 2 x 3,50		
Rampe bidirezionali	A	1 corsia: 3,50	1.00	-
	B	1 corsia: 3,50	1.00	-

Strade urbane				
elemento modulare	Tipo di strada principale	Larghezza corsie (m)	Larghezza banchina in destra (m)	Larghezza banchina in sinistra (m)
Corsie specializzate di uscita e di immissione	A	3,75	2.50	-
	D	3,25	1.00	-
Rampe monodirezionali	A	1 corsia: 4,00	1.00	1.00
		2 corsie: 2 x 3,50		
	D	1 corsia: 4,00	1.00	1.00
		2 corsie: 2 x 3,50		
Rampe bidirezionali	A	1 corsia: 3,50	1.00	-
	D	1 corsia: 3,50	1.00	-

Tabella 32: Larghezza degli elementi modulari

Nel caso in esame si hanno tutte rampe monodirezionali ad unica corsia in campo extraurbano, quindi viene scelta una piattaforma costituita da una corsia di 4 m ed una banchina di 1 m su entrambi i lati.

Accanto alle regole di carattere geometrico indicate in precedenza, un'intersezione deve essere dimensionata con riferimento alla domanda di traffico specializzata in relazione alle manovre consentite.

Gli elementi ed i parametri da determinare in funzione della domanda di traffico, riferita al periodo di punta di progetto, sono:

- per le intersezioni lineari a raso, la lunghezza delle corsie di accumulo
- per le intersezioni a rotatoria, la capacità della rotatoria ed il livello di servizio della soluzione adottata
- per le intersezioni a livelli sfalsati, la lunghezza delle corsie di immissione e delle zone di scambio.

Per le corsie specializzate di accumulo e per gli attestamenti nelle zone regolate da precedenza e Stop, dovranno essere determinati secondo le regole ed i criteri della tecnica della circolazione, il numero medio dei veicoli in attesa di svolgere la manovra desiderata ed il tempo medio di attesa. La lunghezza dei singoli elementi deve, quindi, essere determinata in funzione del numero dei veicoli in attesa e considerando uno spazio occupato da ciascuno di essi mediamente pari a 6 m. Allo scopo di garantire che con elevata probabilità i veicoli in attesa riescano ad essere ospitati nell'elemento considerato, occorre assegnare a questo una lunghezza doppia di quella corrispondente al numero medio di veicoli in attesa.

Per le manovre di immissione e di scambio, la lunghezza delle corsie specializzate deve essere determinata secondo procedure basate sulla distribuzione probabilistica dei distanziamenti temporali tra i veicoli in marcia su ciascuna corsia.

Il livello di servizio dell'intersezione non dovrà essere inferiore a quello prescritto dal D.M. 5.11.2001 per il tipo di strade confluenti nel nodo.

A seconda del metodo di calcolo utilizzato potranno essere valutate con criteri funzionali le sole lunghezze $L_{i,e}$ per le immissioni, L_{sc} per gli scambi e $L_{a,a}$ per le corsie di accumulo ovvero l'intera corsia specializzata o parte di essa, in modo da garantire che la manovra nel suo complesso offra il livello di servizio richiesto.

4.4 DESCRIZIONE GEOMETRICA DELLE RAMPE DI PROGETTO

La zona di territorio in questione è prevalentemente collinare e costituita dalla presenza del torrente Laio. Per questo si è ricorso alla progettazione di viadotti e di ponti per superare le problematiche delle pendenze elevate di alcuni punti e per attraversare il suddetto corso d'acqua.

Per tutte le clotoidi è stato utilizzato un fattore di forma $N = 1$.

Nei rettifili delle rampe non viene mantenuta la lunghezza minima imposta dal D.M. 5.11.2001, ma questo non è a scapito della sicurezza poiché le velocità di progetto sono ben inferiori a quelle massime da normativa.

Tutte le rampe che si immettono o che escono da una rotatoria presentano una pendenza del 2%, in modo da raccordare la pendenza trasversale all'interno della rotatoria con quella longitudinale del ramo.

La rampa Nord-Est è preceduta da una corsia di uscita dalla Pedemontana di lunghezza $L = 169,5$ m, composta da un tratto di manovra $L_{m,u} = 75$ m e uno di decelerazione $L_{d,u} = 132$ m che comprende metà lunghezza del primo. La rampa inizia ad una quota di 175,99 m con un viadotto di 239,4 m che costeggia il torrente Laio con pile distanti 25 m; dopodiché scende verso la rotatoria Anello 2 ad una quota di 174,52 m.

RAMPA NORD-EST	
Clotoide 1	
$A \geq A_{min}$ complessiva	$74,45 \geq 52,5$
Sv [m]	55,42
Arco 1	
$R \geq R_{min}$ [m]	$100 \geq 75$
$Sv \geq Sv_{min}$ [m]	$35,79 \geq 34,72$
Clotoide 2	
$A \geq A_{min}$ complessiva	$87,07 \geq 60,10$
Sv [m]	75,81
Clotoide 3	
$A \geq A_{min}$ complessiva	$87,07 \geq 66,7$
Sv [m]	50,54
Arco 2	
$R \geq R_{min}$ [m]	$150 \geq 75$
$Sv \geq Sv_{min}$ [m]	$87,36 \geq 34,72$
Clotoide 4	
$A \geq A_{min}$ complessiva	$90,56 \geq 76,5$
Sv [m]	54,67
Rettifilo 1	
$L \geq L_{min}$ [m]	$24,82 \geq 40$
$L \leq L_{max}$ [m]	$24,82 \leq 1100$

Tabella 33: Elementi planimetrici della rampa Nord-Est

Livelletta	Lunghezza [m]	Pendenza [%]
1	30	$1,66 \leq 7,0$
2	312,55	$-0,82 \leq 8,0$
3	30	$2 \leq 7,0$

Tabella 34: Elementi altimetrici della rampa Nord-Est

Raccordo verticale	Raggio verticale [m]	Sviluppo [m]	Δi [%]	V_p [km/h]
1	$2000 \geq 1500$	49,63	-2,48	50
2	$1000 \geq 750$	28,22	2,82	50

Tabella 35: Raccordi verticali della rampa Nord-Est

La rampa Nord-Ovest inizia ad una quota di 174,39 m dalla rotatoria “Anello 2” per poi salire immettendosi sulla Pedemontana ad una quota di 201,42 m tramite una corsia di immissione di lunghezza 260 m, composta da un tratto di accelerazione $L_{a,e} = 185$ m e uno di raccordo $L_{v,e} = 75$ m. Il tratto di immissione $L_{i,e}$ non è stato progettato a causa di una mancanza di dati sul traffico. La rampa è formata da un ponte di lunghezza $L = 114,41$ m che attraversa il torrente Laio e da un viadotto di lunghezza $L = 114,4$ m, entrambi con pile distanti 28 m.

RAMPA NORD-OVEST	
Rettilineo 1	
$L \geq L_{min}$ [m]	$35,93 \geq 30$
$L \leq L_{max}$ [m]	$35,93 \leq 880$
Clotoide 1	
$A \geq A_{min}$ complessiva	$185 \geq 145,3$
S_v [m]	85,56
Arco 1	
$R \geq R_{min}$ [m]	$400 \geq 45$
$S_v \geq S_{vmin}$ [m]	$230,76 \geq 27,78$
Clotoide 2	
$A \geq A_{min}$ complessiva	$185 \geq 52,5$
S_v [m]	85,56

Tabella 36: Elementi planimetrici della rampa Nord-Ovest

Livellotta	Lunghezza [m]	Pendenza [%]
1	34,99	$-2 \geq -8$
2	395,82	$6,86 \leq 7$
3	24,46	$1,97 \leq 7$

Tabella 37: Elementi altimetrici della rampa Nord-Ovest

Raccordi verticali	R_v [m]	S_v [m]	Δi [%]	V_p [km/h]
1	$706 \geq 500$	62,58	8,86	40
2	$1000 \geq 1000$	48,93	-4,89	40

Tabella 38: Raccordi verticali della rampa Nord-Ovest

La rampa Sud-Ovest è preceduta da una corsia di uscita di lunghezza 199,5 m, composta da un tratto di manovra $L_{m,u} = 75$ m e da un tratto di decelerazione $L_{d,u} = 162$ m che comprende metà lunghezza del primo. Ad una quota di 188,37 m è presente un viadotto di lunghezza $L = 66,67$ con pile distanti 22 m. La rampa scende fino ad una quota di 185,28 m per poi immettersi sulla strada N. 76; in questo caso,

in mancanza di spazio sufficiente, non si è riusciti a progettare una corsia di immissione adeguata, quindi è opportuno inserire la segnaletica orizzontale e verticale di precedenza ai veicoli che provengono dalla strada N. 76.

RAMPA SUD-OVEST	
Clotoide 1	
$A \geq A_{min}$ complessiva	$100 \geq 94$
S_v [m]	66,67
Arco 1	
$R \geq R_{min}$ [m]	$150 \geq 45$
$S_v \geq S_{vmin}$ [m]	$67,43 \geq 27,78$
Clotoide 2	
$A \geq A_{min}$ complessiva	$80 \geq 75,7$
S_v [m]	42,67

Tabella 39: Elementi planimetrici della rampa Sud-Ovest

Livellotta	Lunghezza [m]	Pendenza [%]
1	29,98	$-3,36 \geq -8$
2	101,89	$-5,11 \geq -8$
3	44,89	$6,96 \leq 7$

Tabella 40: Elementi altimetrici della rampa Sud-Ovest

Raccordi verticali	R_v [m]	S_v [m]	Δi [%]	V_p [km/h]
1	$1000 \geq 1000$	17,5	-1,75	40
2	$694 \geq 500$	83,77	-4,89	40

Tabella 41: Raccordi verticali della rampa Sud-Ovest

La rampa Sud-est inizia ad una quota di 190,36 m dalla rotatoria Anello 1 per poi scendere immettendosi sulla Pedemontana ad una quota di 177,53 m tramite una corsia di immissione di lunghezza 260 m, composta da un tratto di accelerazione $L_{a,e} = 185$ m e uno di raccordo $L_{v,e} = 75$ m. Il tratto di immissione $L_{i,e}$ non è stato progettato a causa di una mancanza di dati sul traffico. La rampa è formata interamente da un ponte di lunghezza $L = 239,06$ m che attraversa il torrente Laio con pile distanti 24 m.

RAMPA SUD-EST	
Clotoide 1	
$A \geq A_{min}$ complessiva	$100 \geq 77,4$
S_v [m]	50

Arco 1	
$R \geq R_{min} [m]$	$200 \geq 45$
$S_v \geq S_{vmin} [m]$	$88,71 \geq 27,78$
Clotoide 2	
$A \geq A_{min} \text{ complessiva}$	$130 \geq 97,7$
$S_v [m]$	84,5

Tabella 42: Elementi planimetrici della rampa Sud-Est

Livellotta	Lunghezza [m]	Pendenza [%]
1	23,91	-2
2	219,06	-5,79
3	20	-1,67

Tabella 43: Elementi altimetrici della rampa Sud-Est

Raccordi verticali	$R_v [m]$	$S_v [m]$	$\Delta i [%]$	$V_p [km/h]$
1	1000	37,88	-3,79	40
2	522	21,5	4,12	40

Tabella 44: Raccordi verticali della rampa Sud-Est

CONCLUSIONI

A conclusione dello studio svolto, viene sintetizzata in modo sintetico ed esauriente la proposta progettuale elaborata.

La prima fase della progettazione ha riguardato una rielaborazione di una bozza di progetto esistente, la quale faceva confluire la Pedemontana Abruzzo-Marche sulla SS 81 nella zona di Piano Aventino con la predisposizione di una rotatoria. Diversamente si è scelto di dare continuità alla stessa realizzandola parallela al fiume Aventino, proseguendo fino a raggiungere la zona di Selva Piana.

Il tracciato oggetto dell'elaborazione, classificato come C1 extraurbano secondario, non si colloca in nessuna zona di particolare pericolosità o rischio geomorfologico, ad esclusione di un breve tratto iniziale. Siccome attraversa e affianca il fiume Aventino, è trasversale a tutte le zone di pericolosità idraulica, quindi per essere conforme al Piano Stralcio Difesa Alluvioni (PSDA) occorre uno studio di compatibilità idraulica. Considerata la zona geografica in questione, onde evitare problemi di inondazioni, buona parte del tracciato è stato progettato come ponte.

Inoltre, essendo l'alveo non arginato in quel tratto, viene mantenuta una distanza minima di sicurezza di 50 metri.

Viene scelto un viadotto a travata con sezione sottile poiché comporta luci contenute ($10\text{ m} < L < 35\text{ m}$), la possibilità di prefabbricazione, semplicità nella costruzione e vantaggi economici. L'impalcato è composto da un affiancamento di travate generalmente in acciaio o prefabbricate in CAP, collegate da traversi in CA gettato in opera e soletta in CAP post-teso gettato in opera. La travata ha funzione portante, i traversi quella di collegamento e irrigidimento flessionale e torsionale, mentre la soletta quella di completamento della superficie di appoggio della pavimentazione.

Il tracciato presenta rispettivamente una prima curva di $R = 500\text{ m}$ e un rettifilo di $462,68\text{ m}$ e una seconda curva di 1000 m e un rettifilo di $692,71\text{ m}$.

Entrambe le curve sono composte da clotoidi che rispettano i parametri imposti da normativa.

La distanza di visibilità per l'arresto viene soddisfatta sull'intero tracciato considerando la messa in opera di un guard rail su entrambi i lati della strada ad un'altezza di $h = 1$ m.

Tale distanza è stata ottenuta grazie all'allargamento della corsia interna di 3 cm, in corrispondenza della Curva 1, e di 3,55 m nella Curva 2.

L'asse stradale è caratterizzato da un raccordo convesso seguito da due raccordi concavi.

Nel caso in esame il diagramma di velocità è costante a 100 km/h per l'intero tracciato.

Sui due lati esterni verranno installate barriere di sicurezza antisvio (guard rail) di tipo metallico a doppio stadio di deformazione H3 a bordo ponte, H2 lungo il tracciato.

La seconda fase ha riguardato la progettazione di uno svincolo stradale sulla nuova infrastruttura nei pressi di Piano Aventino per poter raggiungere la zona di Casoli, in particolare l'area industriale. All'inizio si è pensato a due rampe dirette e due cappi, ma a causa dell'area con elevate pendenze è risultata impossibile la costruzione di rampe indirette che rispettassero i valori imposti da normativa. Nel caso in esame è stata utilizzata un'evoluzione dello schema a "diamante" in cui le intersezioni a raso sono state sostituite da intersezioni a rotatoria lungo l'asse di scorrimento secondario. Con questa tipologia viene ridotto l'impiego di corsie di immissione e di uscita dall'asse secondario, per mezzo dell'inserimento di due rotatorie che raccolgono i flussi provenienti dalle rampe di accesso all'uscita dall'asse principale e i flussi di attraversamento dell'asse secondario. Tali rotatorie, denominate Anello 1 e Anello 2, sono messe in comunicazione per mezzo di un asse a doppio senso che interseca l'asse principale per mezzo di un sottopasso o di un viadotto, minimizzando la necessità di opere d'arte rispetto a tutte le altre soluzioni. L'occupazione planimetrica è simile a quella ricavabile con l'utilizzo della tipologia a "diamante", con maggiore sicurezza per gli utenti nell'approccio dell'intersezione a rotatoria.

Per quanto riguarda l'Anello 1, si è scelto un diametro esterno di 50 m poiché raccoglie i flussi di traffico provenienti dalla nuova Pedemontana e dalla SS 81, una delle arterie più trafficate dell'intera regione Abruzzo; è composto da cinque bracci e da una corsia interna larga 6 m. Dopo le opportune verifiche geometriche si è

constatato che i bracci rispettano la normativa con angoli di deviazione superiori a 45°. L'unica eccezione riguarda il braccio Contrada Cipollaro, il quale non è stato considerato un problema per il fatto che i flussi di traffico sono inferiori a quelli degli altri rami.

Per quanto riguarda l'Anello 2, si è scelto un diametro esterno di 40 m formato da quattro bracci. In questo caso tutti i rami della rotatoria rispettano il valore minimo dell'angolo di deviazione imposto da normativa.

Per il nuovo tratto di strada e per tutti i tratti di cui non si conoscono i dati di traffico, si è utilizzata la normativa (D.M. 5/11/2001) che come valore di portata di servizio per una strada di tipo F extraurbana prevede 450 autoveicoli equivalenti l'ora, mentre per una C extraurbana ne prevede 600. Le verifiche effettuate sul calcolo della capacità, sia per l'Anello 1 che per l'Anello 2, hanno dimostrato un valore della capacità totale superiore a quella semplice, mantenendo livelli di servizio accettabili su tutti i rami.

Lo svincolo è formato da quattro rampe dirette, denominate rispettivamente Nord-Est, Nord-Ovest, Sud-Ovest e Sud-Est in funzione della loro posizione rispetto al Nord. Le rampe sono tutte monodirezionali ad unica corsia in campo extraurbano, quindi viene scelta una piattaforma costituita da una corsia di 4 m ed una banchina di 1 m su entrambi i lati.

L'asse secondario a doppio senso che interseca l'asse principale per mezzo di un viadotto il quale mette in collegamento le due rotatorie è la strada N. 76, riqualificata a C1 extraurbana secondaria per la realizzazione dello svincolo stesso.

La zona di territorio in questione è prevalentemente collinare e costituita dalla presenza del torrente Laio. Per questo si è ricorso alla progettazione di viadotti e di ponti per superare le problematiche delle pendenze elevate di alcuni punti e per attraversare il suddetto corso d'acqua.

Nei rettifili delle rampe non viene mantenuta la lunghezza minima imposta dal D.M. 5.11.2001, ma questo non è a scapito della sicurezza poiché le velocità di progetto sono ben inferiori a quelle massime da normativa.

Tutte le rampe che si immettono o che escono da una rotatoria presentano una pendenza del 2%, in modo da raccordare la pendenza trasversale all'interno della rotatoria con quella longitudinale del ramo.

L'intero lavoro è stato reso possibile grazie al programma di progettazione Civil Design 9.0, che oltre a permettere il disegno automatico, ha verificato i valori dei parametri progettuali immessi confrontandoli con la normativa vigente. Per concludere viene rappresentata l'intera soluzione progettuale fuori scala.



Figura 48: Rappresentazione dell'intera soluzione progettuale

BIBLIOGRAFIA

- “Codice della Strada e Regolamento Attuativo (D.Lgs. 30 Aprile 1992 n. 285 aggiornato con il D.Lgs. 10 Settembre 1993 n. 360 e con il D.M. 4 Gennaio 1995)”
- D.M. 5 Novembre 2011: “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”
- D.M. 19 Aprile 2006: “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali”
- “D.M. 21 Giugno 2001 n. 2367: “Istruzioni tecniche per la progettazione, l’omologazione e l’impiego dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali” che aggiorna il D.M. n 223 18 Febbraio 1992: “Barriere di sicurezza stradale”
- Rapporto di sintesi del 10 Settembre 2001: “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali” del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Ispettorato generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale
- <http://www.regione.abruzzo.it>
- <http://www.trail.abruzzo.it>
- <https://maps.google.it>
- <https://primadanoi.it>