

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento Di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale
Laurea Magistrale in Ingegneria Civile



TESI DI LAUREA
Studio di prefattibilità per il
prolungamento della linea ferroviaria Padova - Calalzo di
Cadore fino a Auronzo. Ipotesi di fondovalle

Relatore:

Ch.mo Prof. Ing. Marco PASETTO

Correlatore:

Ing. Giovanni GIACOMELLO

Ing. Gabriele PUPOLIN

Laureanda:

Chiara CAGNATO

Matr. n. 1038716

ANNO ACCADEMICO 2013/2014

Sommario

PREMESSA	V
INTRODUZIONE	VI
CAPITOLO 1: Progettazione ex novo di tracciati ferroviari	1
CAPITOLO 2: Area oggetto del progetto	3
2.1 Geologia.....	3
2.1.1 Processo litogenetico	3
2.1.2 Processo orogenetico.....	4
2.1.3 Le principali rocce.....	5
2.2 Situazione ferroviaria attuale.....	6
2.3 Comuni interessati	7
2.3.1. Calalzo di Cadore	7
2.3.2 Domegge di Cadore	14
2.3.3. Lozzo di Cadore	17
2.3.4 Cima Gogna	18
2.3.5. Auronzo di Cadore.....	19
CAPITOLO 3: Casi simili di ferrovia esistenti.....	23
3.1.Ferrovia della Stubaital	23
3.1.1 Storia	23
3.1.2 Caratteristiche.....	23
3.1.3 Percorso.....	23
3.2 Bernina Express	24
3.2.1 Storia	24
3.2.2 Caratteristiche	26
3.2.3 Percorso	26
3.3 Ferrovia Trento-Malè-Marilleva	27
3.3.1 Storia	27
3.3.2 La tranvia	28
3.3.3 La ferrovia.....	28
3.3.4 Percorso.....	29
3.4 Zillertal.....	30
3.4.1 Storia	30
3.4.2 Caratteristiche.....	30
3.4.3 Percorso.....	30
3.5 Ferrovie in disuso	31

3.5.1. Ex-ferrovia Calalzo - Dobbiaco.....	31
CAPITOLO 4 : Dati di progetto	37
4.1 Tracciato ferroviario	37
4.1.1 Andamento planimetrico.....	37
4.1.2 Andamento altimetrico	39
4.1.3 Curve di transizione e raccordi di sopraelevazione.....	40
4.2 Caratteristiche tecniche.....	40
4.2.1 Armamento.....	40
4.3. Massicciata	44
4.4 Gli scambi	45
4.5 Corpo ferroviario	46
4.5.1 Il rilevato	46
4.5.2 La trincea	47
4.5.3 Opere d'arte minori.....	47
4.5.4 Ponti.....	48
4.5.5 Gallerie.....	49
4.6 Materiale rotabile.....	50
4.6.1 Le classificazione delle linee ferroviarie	51
CAPITOLO 5: Studio di prefattibilità	55
5.1 Planimetria	55
5.1.1 Calalzo di Cadore	56
5.1.2 Domegge di Cadore	57
5.2 Altimetria.....	61
5.3 Sezioni Trasversali	61
5.4 Sezioni Tipo.....	62
CAPITOLO 6: Prove sui terreni/materiali prelevati in situ per evidenziare le capacità portanti del terreno	63
6.1 Analisi granulometrica.....	63
6.1.1 Apparecchiatura di prova	63
6.1.2 Preparazione dei provini.....	63
6.1.3 Analisi granulometrica a secco	64
6.1.4 Analisi granulometrica per via umida.....	65
6.2 Limiti di Atterberg.....	65
6.2.1 Limite dello stato liquido w_L di una terra	65
6.2.2 Limite dello stato plastico w_p di una terra.....	67

6.2.3	Indice di plasticità.....	67
6.2.4	Limite di ritiro w_s di una terra	67
6.3	Masse volumiche.....	68
6.3.1.	CNR 62	68
6.3.2.	CNR 63	68
6.3.3.	CNR 64	71
6.4	Prova Proctor.....	72
6.4.1	Apparecchiatura di prova	72
6.4.2	Preparazione	73
6.4.3	Procedimento	73
6.5	Misura del modulo elastico attraverso strumento ad ultrasuoni	73
6.6	Rottura a compressione dei campioni compattati con Proctor	74
6.6.1	Apparecchiatura di prova	74
6.6.2	Procedimento di prova.....	75
6.6.3	Espressione dei risultati	75
6.7	Equivalente in sabbia	76
6.7.1	Apparecchiature di prova	76
6.7.2	Esecuzione della prova	77
CAPITOLO 7: Risultati delle prove e analisi		79
7.1	Analisi granulometrica.....	79
7.2	Limiti di Atterberg	83
7.2.1	Limite dello stato liquido w_L di una terra	83
7.2.2	Limite dello stato plastico w_p di una terra.....	86
7.2.3	6.2.3 Indice di plasticità.....	86
7.3	Masse volumiche.....	87
7.3.1.	CNR 62	87
7.3.2.	CNR 63	87
7.3.3.	CNR 64	89
7.4	Prova Proctor.....	91
7.5	Misura del modulo elastico attraverso strumento ad ultrasuoni	93
7.6	Rottura a compressione dei campioni compattati con Proctor	94
7.7	Equivalente in sabbia	96
Conclusioni		99
BIBLIOGRAFIA		101

PREMESSA

Il territorio della provincia di Belluno è sempre stato penalizzato dalla relativa lontananza dall'"area forte" della regione del Veneto (che corrisponde all'area occupata dalla pianura veneta) e dalle caratteristiche orografiche dei siti. In particolare il territorio del Centro Cadore, posizionato nella parte centro settentrionale della provincia, gode di una limitata accessibilità nord-sud e nelle altre direzioni presenta un sistema dei collegamenti che risente della natura montuosa possedendo una viabilità tipica delle zone di montagna.

L'incremento di traffico che si è registrato negli ultimi anni su tutto il territorio nazionale trova riscontro anche nel territorio delle valli del Cadore, dove si è registrato un aumento del turismo di massa, un aumento della mobilità dei residenti per gli spostamenti casa, lavoro, scuola e tempo libero e l'incremento delle attività produttive.

La rete viaria presenta dei flussi di traffico molto sostenuti lungo il fondovalle che decrescono mano a mano che dalla Valbelluna ci si dirige verso le zone periferiche.

Il trasporto pubblico locale su gomma viene effettuato dalle "Dolomiti Bus", la quale serve il territorio della Comunità Montana, mentre il sistema di trasporto su ferro è costituito solo dalla linea ferroviaria che da Pieve di Cadore arriva a Calalzo.

Si tratta di una linea che è stata costruita per motivi militari ancora nel 1914: è a binario unico, non è elettrificata, e si svolge su di un percorso che presenta pendenze fino al 25 % e raggi di curvatura di 200 m, così che la velocità commerciale non può essere superiore ai 50 km/h.

Il servizio ferroviario offre mediamente una ventina di treni locali al giorno e quattro treni a lunga distanza, ma al fine di ridurre i costi di esercizio le Ferrovie dello Stato Italiane hanno reso non presenziate alcune stazioni ed eliminato alcune fermate.

Dal quadro sopra riportato emerge la preponderanza del trasporto privato, con tutti gli effetti negativi che questo induce sull'ambiente a causa dell'inquinamento atmosferico ed acustico; senza contare i ritardi e la limitazione alla mobilità delle merci e dei cittadini.

Si tratta di una situazione che al momento non presenta facili soluzioni nel breve-medio periodo e la cui situazione sarà probabilmente fortemente caratterizzata da una serie di dinamiche, peraltro già in atto, ma che tenderanno sempre più ad incidere sulla realtà del territorio della Comunità Montana Centro Cadore, quali: il calo demografico, l'invecchiamento della popolazione residente, lo spopolamento delle aree più marginali e disagiate, il concentrarsi di popolazione nei centri più importanti o quantomeno nelle zone di fondovalle, l'incremento dei flussi "non più giovani" e l'incremento dell'escursionismo, la sempre più difficile gestione economica dei servizi pubblici.

La storia delle Dolomiti, inoltre, è geologia e antropizzazione, geomorfologia e vegetazione, con esempi di integrazione tra natura e opera dell'uomo in un equilibrio che purtroppo mostra segni di alterazione e di degrado.

È proprio per evitare altre lacerazioni che le infrastrutture di trasporto devono assumere caratteristiche e dimensioni che ne permettano una corretta integrazione nel territorio con la possibilità di offrire luoghi e paesaggi in una prospettiva diversa, dove sia chiaro il percorso naturalistico e storico che ha portato alla formazione di questo ambiente.

Soltanto da questa conoscenza si potrà arrivare alla coscienza del loro valore per l'uomo.

INTRODUZIONE

Nelle valli d'Ansiei e d'Oten si riscontra una crescente presa di coscienza sui limiti della "monocoltura dell'automobile" e sulla necessità di riqualificare l'offerta di mobilità del proprio territorio, dotandolo di un moderno sistema di trasporto pubblico complementare e integrativo dell'auto privata.

In tale contesto, la generale riscoperta del trasporto ferroviario degli ultimi decenni, supportata da esempi concreti come le ferrovie Trento-Malè- Marilleva e della Merano- Malles, ha stimolato l'idea che anche nei comuni compresi tra Calalzo ed Auronzo di Cadore il treno possa essere la soluzione ideale per risolvere i problemi di mobilità e contemporaneamente arricchire l'offerta turistica.

I vantaggi inerenti alla costruzione di una linea ferroviaria sono:

- trasporti quantitativamente maggiori rispetto al mezzo stradale;
- a parità di traffico, la superficie necessaria per accogliere le infrastrutture ferroviarie è inferiore di circa 1/3 a quella richiesta dalla soluzione stradale;
- la ferrovia, è tendenzialmente un mezzo ecologico;
- il comfort assicurato con il trasporto su rotaia è sicuramente superiore a quello offerto da qualsiasi mezzo autostradale;
- infine la ferrovia non subisce, salvo casi straordinari, le conseguenze degli intasamenti di traffico e la circolazione ferroviaria risente meno degli agenti atmosferici.

A fronte dei suddetti vantaggi bisogna tenere conto dell'importanza economica e sociale degli investimenti e quindi effettuare un'attenta valutazione e ponderazione delle scelte con una attenta analisi dei costi, impatti e benefici.

La questione è complessa e variegata: ad esempio nei territori montani del Cadore occorre tenere in conto sia della mobilità pedonale ed occasionale dei residenti sia dei flussi turistici estivi e invernali e, contemporaneamente, offrire una soluzione attraente sia alla mobilità da e per le valli che a quella interna tra le località.

Numerose esperienze in altre realtà sembrano dimostrare che la ferrovia dovrebbe essere in grado di fornire una risposta efficiente e sostenibile a questi bisogni di mobilità: ma ciò può avvenire con diverse modalità e livelli d'intervento.

Il presente studio di fattibilità analizza le caratteristiche del territorio e descrive una possibile ipotesi di nuovo tracciato ferroviario.

CAPITOLO 1: Progettazione ex novo di tracciati ferroviari

Una linea ferroviaria nasce, così come una qualsiasi infrastruttura di trasporto, per soddisfare determinati bisogni di trasporto.

Può trattarsi di bisogni corrispondenti ad un traffico interno ad un determinato bacino che può anche ridursi, come nel caso di una ferrovia metropolitana, al solo ambito di una grande città od a traffici in zone molto estese (tra centri lontani o addirittura tra nazioni diverse).

I costi di costruzione di una ferrovia sono sempre notevoli così come sono notevoli i costi fissi che, in esercizio, devono essere sostenuti anche indipendentemente dal traffico svolto. Ne consegue che una linea ferroviaria risulta economicamente giustificata solo quando possa prevedersi un traffico sufficientemente intenso.

La costruzione di una linea ferroviaria, sia su di un itinerario del tutto nuovo o di rinforzo a qualche ramo della rete esistente, deve essere fatta precedere da un accurato studio di fattibilità economica, con il quale si pongono a raffronto i costi di costruzione e di futuro esercizio, con i ricavi che si prevede di ottenere dal traffico, anche in ottiche più vaste di pianificazione del territorio o di sviluppo di traffici internazionali e intermodali.

Questi costi e ricavi non sono peraltro mai determinabili in maniera univoca: gli uni e gli altri dipendono infatti dalle caratteristiche secondo le quali si pensa di costruire e poi di esercitare la linea.

Una volta definite le località da servire, si possono affrontare spese ben differenti a seconda del numero di binari in linea, dei servizi che si pensa di offrire alla clientela nelle diverse stazioni, della scelta di un armamento pesante o leggero, dell'adozione o meno della elettrificazione e di impianti sofisticati di distanziamento e segnalamento, del tipo di materiale rotabile e di trazione per ottenere maggiori o minori livelli di velocità, ecc.

Le spese sopra indicate variano in modo notevole in funzione delle caratteristiche orografiche delle zone da attraversare; la presenza di zone orograficamente difficili non fa solo aumentare, tra l'altro, le spese chilometriche, ma aumenta anche notevolmente il numero delle soluzioni, tra di loro di costo anche molto diverso, tra cui va effettuata una scelta. Selezionando diversi valori di pendenza massima si possono ottenere tracciati di costo differente e ciò sia per lo sviluppo di diversa lunghezza sia per il numero più o meno elevato di opere d'arte, e in particolare di gallerie, che portano ad un costo chilometrico molto elevato.

Bisogna sottolineare come la potenzialità della linea che si va a costruire, calcolata in numero di treni che possono circolare nell'unità di tempo e la velocità dei convogli che su di essa potranno circolare, aumentano (almeno in linea di principio ed entro logici limiti) con le scelte più costose tra quelle sopra elencate così come, con le stesse scelte, si riducono, in genere i costi di esercizio.

Bisogna concludere ricordando che quanto si è detto, a proposito dell'importanza dello studio di fattibilità economica di una linea ferroviaria, non significa che si possa por mano ad una costruzione solo in caso che il suddetto studio porti con certezza ad un risultato positivo. A favore dell'investimento possono infatti concorrere svariatissimi motivi, non tutti perfettamente quantificabili e di carattere diverso dallo stretto interesse economico della ferrovia: motivi sociali, di promozione dell'attività industriale e turistica di una determinata parte del territorio, di interesse militare e altro. Anche in tali casi occorre che il bilancio preventivo venga fatto e se ne determini il conseguente onere nonché il modo secondo il quale:

- siano definiti il finanziamento, gratuito od almeno agevolato dell'investimento, le previste sovvenzioni di esercizio, i livelli di servizio e quant'altro;
- siano individuate le collettività, e per esse lo Stato, la Regione o i Comuni interessati che se ne accolleranno il peso, partecipando quindi agli oneri e definendo i benefici attesi.

CAPITOLO 2: Area oggetto del progetto

2.1 Geologia

Lo scenario dolomitico è il risultato della particolare storia geologica di questa regione montuosa.

Nelle Dolomiti si trovano infatti due tipi di rocce associate tra di loro, quella dolomitica e quella vulcanica, che normalmente non lo sono perché derivano da processi e da ambienti totalmente diversi. Siccome la roccia dolomitica è molto più resistente agli agenti della degradazione meteorica (sole, pioggia, gelo, ruscellamento delle acque) rispetto alle rocce vulcaniche, le quali si alterano e infrolliscono facilmente, risulta che i pallidi e torreggianti picchi dolomitici si trovano vicino o emergono dalle verdi valli e dai dolci pendii, dove invece stanno le scure rocce di origine vulcanica.

Il nome "dolomite" deriva dal suo scopritore, Deodàt de Dolomieu (1750-1801), e si riferisce ad una roccia composta da carbonato doppio di calcio e magnesio: la dolomia.

La dolomia e quasi tutte le rocce che affiorano nella zona dolomitica si sono formate in fondo al mare durante quello che viene chiamato "processo litogenetico" (o della formazione delle rocce). Ben diverso è il "processo orogenetico", in cui si ha la formazione delle montagne e che, nel caso delle Dolomiti, è separato da quello litogenetico da ben 100-150 milioni di anni.

2.1.1 Processo litogenetico

La successione delle rocce stratificate che affiora nelle Dolomiti si è formata a partire dal Permiano, circa 270-280 milioni di anni fa, in un periodo nel quale la regione Veneto appariva come un'ampia pianura alluvionale dal clima arido e caldo, dove i fiumi accumulavano detriti di vario genere, trasformati in seguito in solida roccia, nota come Arenaria di Val Gardena. Questa, ad ovest della Val Badia e della Valle del Cordevole, poggia su di un potente basamento di porfidi, risultato di colate vulcaniche e nubi ardenti, mentre ad est del suddetto allineamento, essa giace direttamente su antichissime rocce metamorfiche, dette filladi quarzifere.

Circa 255-260 milioni di anni fa, il mare invade la regione determinando inizialmente il formarsi di depositi salini, bianchi e farinosi, e poi di sedimenti scuri detti Formazione di Bellerophon.

Circa 235 milioni di anni fa, nell'Anisico, alcune zone si sollevano ed emergono dal mare, formando isole. Alla fine dell'Anisico, però, tutta la zona subisce un lento processo di sprofondamento (la "subsidenza"), che ovviamente fa sprofondare anche quelle isolette, sulle quali attecchiscono comunità organogene, dal momento che il clima, ora, è di tipo tropicale, con acque calde, limpide e ben aerate. Si tratta di primitive scogliere coralline che cercano di tenere il passo della subsidenza per rimanere costantemente a pochi metri di profondità e che oggi costituiscono alcune delle più famose montagne dolomitiche quali lo Sciliar, il Latemàr, la Marmolada, il Catinaccio, le Pale di S. Martino, le Odle, il Putia e la parte inferiore della Civetta. La roccia di cui sono formate è detta Calcarea della Marmolada o Dolomia dello Sciliar a seconda della composizione chimico-mineralogica (nei profondi bacini adiacenti, contemporaneamente, si accumulano sedimenti detti Formazione di Livinallongo).

Alla fine del Ladinico, 230 milioni di anni fa, si formano due grossi vulcani che emergono dall'acqua (uno vicino Predazzo e uno nei pressi della Val di S. Nicolò) e dai quali fuoriesce un'enorme quantità di lava e tufi che si riversa lungo i pendii delle scogliere riempiendo così i bacini marini. Interi gruppi sono formati da queste rocce vulcaniche: la catena del Padòn, il M. Pore e il Piz del Corvo, il Col di Lana, La Cima di Pape, il sottogruppo Colac-Bufferaure.

Subito dopo si verifica un brusco abbassamento del livello del mare che determina l'emersione delle scogliere, dei banchi carbonatici e degli edifici vulcanici. Ovviamente le nuove condizioni subaeree portano alla fine del delicato ecosistema "di scogliera" e i vari edifici vulcanici vengono spianati dall'erosione e i detriti finiscono di riempire i bacini. In zone più lontane dai vulcani, comunque, persistono ampie aree bacinali

Adesso sono fenomeni tettonici a sconvolgere la regione: si formano faglie che portano alla deformazione, al piegamento e all'accavallamento delle rocce precedentemente deposte. Probabilmente furono assai comuni terremoti, maremoti e grandi frane sottomarine.

Una volta terminata questa turbolenta fase, la zona dolomitica torna a essere un tranquillo mare tropicale nel quale prosperano coralli, alghe e spugne. Il risultato è che inizia a formarsi una nuova generazione di scogliere e piattaforme carbonatiche, questa volta di età carnica (la così detta Dolomia Cassiana), molto meno sviluppata in altezza e più in larghezza (il fondo infatti è più regolare e c'è meno subsidenza). Da queste rocce sono formate, per esempio, il Settsass, il Picco di Vallandro e la parte inferiore del Sella. Nei bacini adiacenti, invece, si vanno accumulando i fini prodotti delle erosioni delle rocce vulcaniche mescolati a particelle calcaree di varia natura: è questa la Formazione di S. Cassiano, notevolissima per via della straordinaria quantità di fossili in essa contenuti.

224 milioni di anni fa, alla fine del Carnico, un nuovo forte abbassamento del mare determina la fine dello sviluppo delle scogliere e un'ulteriore riempimento dei bacini: la regione torna ad essere un'area piatta, in parte marina, in parte costiera. Su questa superficie si deposita la Formazione di Raibl, di spessore modesto e dal vivace colore rosso-verde. E' costituita di questi sedimenti la cengia che taglia tutto il Sella a metà altezza, come pure la base della Tofana di Rozes e delle 5 Torri.

Con il Norico, 223 milioni di anni fa, in un mare sottile e caldo, in continua subsidenza, si deposita, metro dopo metro, una potente successione di dolomie stratificate, la Dolomia Principale (il suo spessore è di ben 1000 metri) che oggi costituisce alcune delle cime più famose delle Dolomiti cadorine e bellunesi: le Tre Cime di Lavaredo, il Cristallo, il Pomagagnon, la Croda da Lago, le 5 Torri, la Civetta e molte altre ancora.

Si giunge così alla fine del Trias e all'inizio del Giurassico: tutta l'Italia è coperta dal mare ed il clima diviene umido, di tipo marino. Non ci sono più dolomie o depositi salini, ma calcari grigi, ben stratificati, di cui sono costituite la parte sommitale del Pelmo, della Civetta, dell'Antelao ecc.

Tra 170 e 135 milioni di anni fa, la regione sprofonda ulteriormente e si hanno i depositi di Ammonitico Rosso (un calcare caratterizzato dalla presenza delle ammoniti), mentre con il Cretaceo, l'ultimo periodo dell'era Mesozoica, si depositano le rocce più giovani della nostra regione (le Marne del Puez, materiali teneri e di colore grigio-verde).

2.1.2 Processo orogenetico

All'inizio del Cretaceo, 120-130 milioni di anni fa, quando si depositarono gli ultimi e più giovani sedimenti attualmente presenti nella regione dolomitica, tutta la pila di rocce, descritta nella sezione riguardante il processo litogenetico, si trovava sepolta in fondo al mare Tetide.

Verso la fine del Cretaceo, cioè 70-80 milioni di anni fa, il continente africano cominciò ad avvicinarsi a quello europeo, determinando uno schiacciamento dei materiali interposti ed il loro conseguente innalzamento (orogenesi: nascita di una catena montuosa).

Le Dolomiti iniziarono ad essere interessate da queste dinamiche circa 40 milioni di anni fa ma è soprattutto negli ultimi 25 che si sono avuti gli effetti più forti, con un sollevamento tale da far emergere il tutto dal mare.

Il maggiore e definitivo sollevamento si è avuto negli ultimi 4-5 milioni di anni. I corsi d'acqua hanno scavato ed inciso sempre più, finché sono comparsi a giorno i terreni triassici e permiani: le dure e resistenti dolomie sono rimaste sempre più isolate, mentre le tenere rocce vulcaniche con i loro derivati sedimentari venivano spianate con facilità dando luogo a valli, passi, altopiani.

Circa 2 milioni di anni fa, infine, le Dolomiti vengono ricoperte dai ghiacci, i quali daranno, così, il loro fondamentale contributo alla geomorfologia della Zona.

La genesi di questo tipo di roccia carbonatica inizia attraverso accumuli di conchiglie, coralli e alghe calcaree e in ambiente marino e tropicale, i quali ebbero luogo nel Triassico, circa 250 milioni di anni fa, in zone con latitudine e longitudine molto diverse dall'attuale locazione delle Dolomiti, dove esistevano mari caldi e poco profondi. Sul fondo di questi mari si accumularono centinaia di metri di sedimento

che, sotto il loro stesso peso e perdendo i fluidi interni, si trasformarono in roccia. Successivamente, lo scontro tra la placca europea e la placca africana (orogenesi alpina) fece emergere queste rocce innalzandole oltre 3000 m sopra il livello del mare.

Il paesaggio attuale è spigoloso e ricco di dislivelli. A determinare tale trasformazione sono stati i piegamenti e le rotture delle rocce lungo piani di scorrimento (faglie), ai cui movimenti corrispondono altrettanti terremoti, episodiche esplosioni vulcaniche e relativi depositi, erosioni differenziali legate agli agenti atmosferici e ai piani di debolezza insiti nelle rocce.

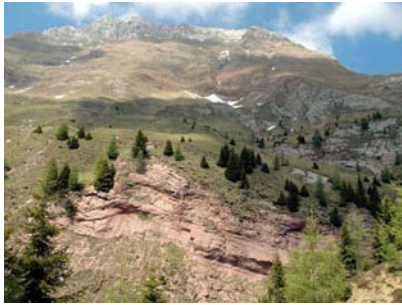


Figura 1: Dolomiti

L'innalzamento delle rocce dolomitiche è tuttora in corso. Oggi le Dolomiti mostrano il biancore dei carbonati di scogliera corallina, l'acutezza di rocce coinvolte in orogenesi recenti, le incisioni di potenti agenti esogeni (ghiacciai, vento, pioggia, freddo-caldo).

Nel futuro geologico, le Dolomiti continueranno a crescere inglobando nuovi settori di rocce sospinte dallo scontro tra le placche europea e africana; la scomparsa di questa spinta determinerà il prevalere degli agenti esogeni tendenti ad appianare e addolcire il paesaggio montano (come è successo negli Urali).

2.1.3 Le principali rocce

Le principali rocce sono:

- *gruppi di Wengen* (Ladinico superiore). È una potente e complessa successione di rocce vulcaniche e vulcano-clastiche (derivanti cioè dallo smantellamento e dalla risedimentazione delle prime), di colore nerastro; sono testimonianza del vulcanismo che interessò le Dolomiti nel corso del Trias medio.

- *Formazione di S. Cassiano* (Ladinico sup.-Carnico inf.). Alternanza di argille e marne di colore grigio-nerastro, famosa per i suoi fossili (Ammoniti e piccoli invertebrati).

- *Dolomia Cassiana* (+/- Carnico inf.). Dolomia cristallina massiccia di "scogliera", di colore grigio-nocciola, più o meno coeva alla Formazione di Durrenstein (Carnico medio-sup.). in prevalenza dolomie grigie, stratificate.

- *Formazione di Travenanzes* (Carnico sup.). Argille e marne prevalenti vari colori.

- *Dolomia principale* (Norico-Retico). Dolomie grigio chiare, stratificate e localmente fossilifere.

- *Gruppo dei calcari grigi* (Retico sup. - Liassico inf.). Banchi di calcari chiari e di calcareniti oolitiche.

- *Formazione del Puez* (Cretacico inf.). Marne e calcari di vari colori a luoghi fossiliferi (ammonoidi ecc).

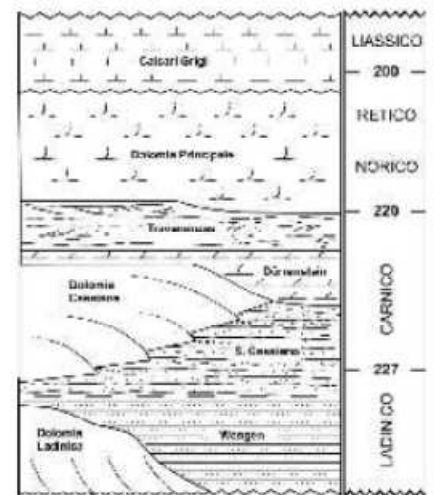


Figura 2: Colonna stratigrafica delle formazioni litologiche prevalentemente affioranti. Gli spessori non sono in scala; i numeri indicano milioni di anni fa.

2.2 Situazione ferroviaria attuale

Analizzando la carta ferroviaria del settore nord-orientale italiano che va dal valico del Brennero a quello di Tarvisio e che comprende le zone alpine del Trentino Alto Adige, del Veneto e del Friuli Venezia Giulia, si deve constatare l'esistenza di una zona quasi sprovvista di ferrovie quale è il Cadore in provincia di Belluno.

- Linea Padova-Calalzo
- Linea Verona-Brennero
- Linea Fortezza-San Candido
- Linea Conegliano-Ponte nelle Alpi
- Linea Venezia-Udine-Tarvisio

L'unica linea di servizio della zona ha le sue radici sulla rete della pianura veneta, è a semplice binario, non è elettrificata e possiede tutte le caratteristiche di una ferrovia di fondovalle prealpina, specialmente tortuosa ed acclive nel tratto Belluno-Calalzo/Pieve di Cadore: quest'ultima è una stazione terminale oltre la quale la ferrovia non prosegue in quanto all'epoca della costruzione (dal 1912 al 1914) il confine italo-austriaco si trovava a breve distanza.

Il Cadore e le zone limitrofe si trovano perciò avulse dalle grandi arterie ferroviarie internazionali che collegano l'Adriatico con le regioni dell'Europa centro-danubiana e che sono rappresentate dalla linea del Brennero e dalla linea di Tarvisio o ferrovia Pontebbana, mentre al margine settentrionale, lungo la Val Pusteria, corre la ferrovia Fortezza-San Candido.

Il Cadore è quindi attualmente servito da due linee:

- la linea Padova – Calalzo che collega la provincia con la pianura veneta passando per Castelfranco, Montebelluna, Feltre, Belluno, Ponte nelle Alpi. Questa linea presenta ottime caratteristiche da Padova a Castelfranco, è infatti a doppio binario elettrificato, nel tratto rimanente da Castelfranco a Montebelluna è a semplice binario non elettrificato ma a trazione diesel, la velocità massima ammessa, dopo Montebelluna, non supera i 90 km/h e per il tratto terminale dopo Belluno (circa 40 km) scende a 70 km/h. La pendenza si mantiene dell'ordine del 10-15 ‰ raggiungendo il 25‰ nel tratto finale tra Perarolo e Calalzo. Le stazioni di interscambio sono:
 - Ponte nelle Alpi, con coincidenze per Vittorio Veneto, Conegliano;
 - Montebelluna, con coincidenze per Treviso e Castelfranco;
 - Castelfranco Veneto, con coincidenze per Venezia, Bassano, Milano;
 - Camposampiero, con coincidenze per Bassano e Trento;
 - Padova, con coincidenze alle linee Trieste-Venezia-Bologna-Roma e Trieste-Venezia-Milano.
- la linea Venezia – Belluno che collega la provincia con la pianura veneta. Il collegamento tra Belluno e Conegliano è assicurato da un tratto a semplice binario non elettrificato con caratteristiche modeste: pendenze fino al 24 ‰ con velocità massima da Vittorio Veneto a Ponte delle Alpi di 70 km/h. Le stazioni di interscambio sono:
 - Ponte nelle Alpi, con coincidenze per Calalzo;
 - Conegliano, con coincidenze per Treviso, Pordenone, Udine e Trieste;
 - Venezia Mestre, con coincidenze per Padova, Bologna e Milano.

2.3 Comuni interessati

I Comuni interessati dalla realizzazione della nuova linea ferroviaria appartengono al Cadore, regione storico-geografica del Veneto che si estende per ca.1200 km² in provincia di Belluno e costituisce un'unità morfologica e storica ben definita corrispondendo al bacino superiore del fiume Piave a monte di Longarone. All'interno del Cadore si individuano subregioni minori, corrispondenti alle valli dei torrenti che confluiscono da destra nel Piave: val Padola, o Comelico, valle dell'Ansiei, valle del Boite, che nel tratto superiore prende il nome di Ampezzo.

Esteso sul versante sudorientale delle Dolomiti, il Cadore culmina a 3264 m nel monte Antelao, scende sotto i 500 m all'uscita del Piave dalla regione e racchiude i magnifici complessi dolomitici del Sorapis (3205 m), del monte Cristallo (3221 m), delle Tofane (3243 m), delle Marmarole (2961 m) e dei Cadini (2839 m); sul confine con l'Alto Adige si innalzano le Tre Cime di Lavaredo (2998 m).

Numerosi laghetti alpini (il più famoso è quello di Misurina) punteggiano i versanti; al centro della regione si apre il vasto lago artificiale di Pieve di Cadore.

Agli inizi del sec. XXI, nonostante sia una terra montuosa non facilmente raggiungibile (non esiste alcuna autostrada e la ferrovia si ferma a Calalzo di Cadore), il Cadore risulta abbastanza popolato e caratterizzato da comuni di grande dimensione riuniti frazioni sparse.

Le principali attività economiche sono costituite dalla silvicoltura, dall'allevamento e dalla lavorazione del legno. Ma le più importanti fonti di ricchezza risiedono nelle tantissime aziende che producono occhiali e minuteria per gli stessi e nel terziario turistico sia estivo sia invernale. A fianco dell'internazionale Cortina d'Ampezzo, sono importanti San Vito di Cadore, Sappada, Auronzo di Cadore, Pieve di Cadore (che è il capoluogo storico della regione), Santo Stefano di Cadore, Borca di Cadore, Calalzo di Cadore, Domegge di Cadore, Lorenzago di Cadore e Vigo di Cadore.

2.3.1. Calalzo di Cadore

Il comune di Calalzo di Cadore, in provincia di Belluno, ha una popolazione di circa 2250 abitanti distribuiti su un territorio di 43.38 km², per una densità di 51,89 ab/ km².

Localizzato nella parte nord orientale della Provincia di Belluno, in prossimità del confine con il Friuli Venezia Giulia, il territorio del Comune di Calalzo di Cadore è caratterizzato dalla presenza d'importanti rilievi montuosi quali l'Antelao e le Marmarole.

Il territorio comunale è interessato dal corso del fiume Piave il quale poco più a valle, in territorio Pieve di Cadore, è sbarrato da una diga e prende la forma di uno stretto lago artificiale, la cui realizzazione (negli anni '50 del secolo scorso) ha modificato profondamente il paesaggio naturale.

Localizzato poco più a monte dell'attuale tracciato della S.S.51 bis l'originario sistema insediativo, in continuità con i più rilevanti centri abitati di questa parte del centro Cadore, è strutturato su un soleggiato terrazzo morenico nella parte inferiore del versanti della destra Piave. Il sistema insediativo si distende verso monte lungo la valle del Molinà e, più a monte la Val d'Oten. Sulla sinistra del Molinà la frazione di Rizzios è l'unico episodio insediativo.

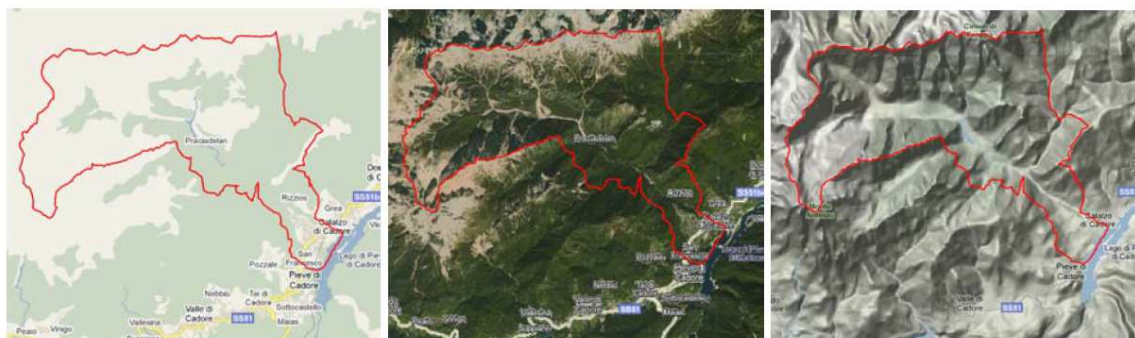


Figura 3: Territorio di Calzalzo di Cadore

Le principali infrastrutture del territorio comunale sono:

- la SS 51 bis, che in corrispondenza dell'ingresso a Calzalzo perde il carattere di strada extraurbana che la caratterizza da Termine di Cadore fino al confine tra Pieve e Calzalzo,
- la ferrovia Venezia-Calzalzo o Padova-Calzalzo che qui termina lasciando il posto alla pista ciclabile "Lunga Via delle Dolomiti", che ha occupato il sedime dismesso della ferrovia, una volta estesa fino a Cortina e Dobbiaco.

Negli ultimi decenni le connessioni stradali con Belluno si sono fatte relativamente agevoli grazie ad una serie di migliorie lungo il tracciato della SS 51 bis e della realizzazione di un nuovo tracciato della SS 51 bis, a valle del precedente, che permette di accedere a Calzalzo e ai centri che si succedono lungo la strada senza dover attraversare il centro di Pieve di Cadore.

Il capoluogo, inizialmente formato da due nuclei isolati, si è progressivamente consolidato e articolato, assumendo una conformazione ramificata e successivamente estendendosi verso valle lungo alcuni percorsi, fino a congiungersi con gli sviluppi insediativi più recenti lungo la SS 51 bis e nelle aree comprese tra la strada statale e la ferrovia. La frazione di Rizzios, ha invece mantenuto il carattere di borgo rurale, decentrato rispetto alla struttura insediativa, caratterizzato da una diretta relazione con il territorio aperto.

Le modificazioni della struttura insediativa originaria si sono generate, prevalentemente nell'ultimo secolo, interpretando in modi di volta in volta differenti (e con differenti gradi di intenzionalità), il tema della connessione, del collegamento tra due sistemi lineari, quello originario e quello prodottosi più recentemente in prossimità delle principali infrastrutture. Negli ultimi decenni questa dinamica di crescita per connessioni si è intensificata generando ispessimenti e saturazioni, fino a dare luogo ad un'area urbanizzata di fondovalle sostanzialmente continua, nella quale gli spazi aperti residui sottolineano discontinuità paesaggistiche funzionali.

Oggi Calzalzo appare come una parte di sistema urbano, debolmente strutturato nel suo insieme, ma chiaramente riconoscibile, che si estende verso nord-est fino a Lozzo e ad Ovest fino a Valle di Cadore.

L'attività edilizia dell'ultimo decennio è stata meno intensa rispetto ai decenni passati. Nella maggior parte dei casi gli interventi realizzati non hanno avuto la capacità di produrre una riorganizzazione in forme più razionali e comprensibili dello spazio abitabile ereditato dei decenni precedenti.

Le caratteristiche sociali ed economiche del territorio sono state legate, negli ultimi decenni, allo sviluppo del distretto dell'occhiale, che ha avuto origine nei comuni del Centro Cadore e attraversa oggi una profonda fase di ristrutturazione.

2.3.1.1 Movimento anagrafico

Le dinamiche demografiche del Comune sono quelle caratteristiche dei territori di montagna. Un saldo naturale lievemente negativo al quale si associano fenomeni migratori di segno analogo hanno comportato, nei decenni dal 1981 al 2001, un limitato calo di popolazione.

In realtà il dato aggiornato all'agosto 2010 corrispondente a 2251 abitanti segna un significativo decremento di popolazione che riporta il Comune ai valori del 1961.

In gran parte il calo di popolazione è dovuto ad un saldo migratorio che negli ultimi 6 anni ha sempre fatto registrare valori negativi, accompagnando un saldo naturale che, seppure con valori meno rilevanti, è da tempo preceduto dal segno meno.

Il tasso medio di natalità tra il 2003 e il 2007 è stato pari a 7,78, inferiore sia a quello provinciale (8,1) sia alla media regionale (9,88).

Gli stranieri residenti nel 2008 erano 198, l'8,58% della popolazione residente, con una prevalenza della componente maschile (112 contro 86). Si tratta quindi di una presenza superiore alla media regionale (6,12%) e più elevata rispetto ai valori registrati nella Provincia di Belluno (4,09%).

Nel decennio 1995-2005 si è registrato un decremento del numero di famiglie che registra un valore di -6,4%, un dato in controtendenza rispetto ai valori positivi registrati nell'ultimo decennio nella provincia e nell'intera regione (4,5 e 7,6).

Il dato appare correlato ad un numero medio di componenti delle famiglie in linea con i valori provinciali e

inferiore a quelli regionali con 2,3 e 2,5 componenti. La variazione percentuale dei componenti del nucleo familiare è stata pari a zero, in linea con il valore regionale e inferiore alla media provinciale (pari a -3,2%).

In definitiva le famiglie risultano poco numerose, i loro componenti sono più anziani, nascono meno bambini rispetto alla media regionale ma anche rispetto alla provincia e c'è una componente di popolazione straniera residente la quale contribuisce a limitare i dati fortemente negativi delle dinamiche demografiche.

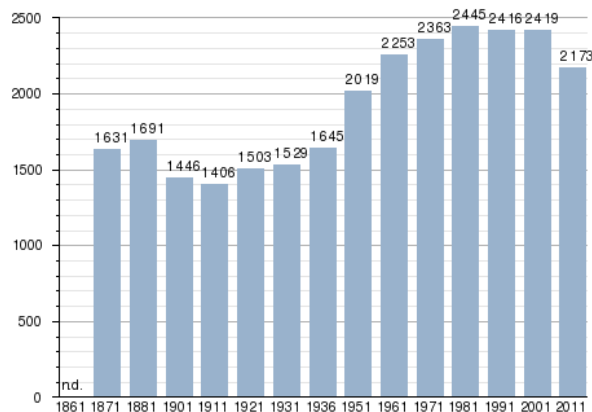


Figura 4: Abitanti censiti

2.3.1.2 Aspetti geomorfologici generali e vincoli

Situato nel tratto montano della Valle del Piave il territorio di Calalzo comprende aree situate sulla destra idrografica del bacino artificiale di Centro Cadore il quale caratterizza la morfologia di fondovalle.

La parte più estesa del territorio si sviluppa nella Val d'Oten, lunga valle che ha origine dai piedi del monte Antelao (una delle principali cime dolomitiche) e dalla catena delle Marmarole, e rappresenta la "chiave di lettura" di un assetto geomorfologico, che solo in minima parte è costituito dai versanti rivolti verso il corso del Piave. Alla base dei rilievi montuosi sono presenti anche rilievi minori, costituiti sempre da rocce di natura calcareo dolomitica.

Nel territorio sono quindi comprese aree ubicate a differenti quote e caratterizzate da aspetti geomorfologici diversi.

Nella zona di fondovalle, fatta eccezione per i profondi avvallamenti nei quali scorrono il Molinà e l'Orsina, la morfologia risulta meno aspra e le pendenze meno accentuate.

Nel territorio sono presenti aree frana e aree soggette a rischio valanghe, le quali però non interessano zone antropizzate.

Nel territorio sono presenti due aree di caduta massi: una a monte di Rizzios, di estensione limitata, una seconda più ampia coincidente con una fascia a monte di Via Caravaggio, tra la stazione elettrica e la scuola ENAIP.

Un'area soggetta a sprofondamento carsico è segnata ai margini del capoluogo, a sud del cimitero.

Il livello del lago di Centro Cadore è soggetto a periodiche escursioni legate sia alle necessità irrigue dei territori di pianura, sia alla laminazione delle piene nei mesi da settembre a novembre.

L'alzarsi e l'abbassarsi del livello dell'acqua fa sì che ampie aree degli ambiti spondali emergano periodicamente.

Tra le potenziali criticità va segnalato che nei prossimi anni si procederà all'asportazione del materiale alluvionale depositato nel lago; ciò potrebbe quindi generare una serie di criticità legate al traffico indotto dalle operazioni di trasporto dello stesso materiale verso la stazione ferroviaria.

Oltre al lago di Centro Cadore e al Piave nel territorio comunale sono presenti corsi d'acqua minori, che interagiscono con la morfologia del suolo in modo molto complesso ed articolato.

Gli elementi di maggior rilievo del sistema idrografico sono la Valle Vanedel, il Rio di Assa, il Rio Ruciambon, il Torrente Vedesana e il Torrente Rizzios, che confluiscono da sinistra nell'asta costituita dal Rio Oten-Torrente Molinà. Negli stessi corsi d'acqua si raccolgono, da destra, le acque della Valle Antelao, del Rio di Pae, che originano prevalentemente nel territorio comunale di Pieve di Cadore.

I fenomeni di dissesto legati alla dinamica dei versanti e dei corsi d'acqua sono attivi in corrispondenza dei rilievi dolomitici e lungo i principali corsi d'acqua.

In genere le scarpate soggette ad erosione, localizzate lungo i corsi d'acqua hanno origine da frane di scalzamento al piede, il cui accumulo è stato successivamente asportato dagli stessi torrenti.

I fenomeni erosivi sono limitati ad alcuni tratti del sistema idrografico, in particolare nel settore nord-ovest (Valle Antelao, Rio Oten, Valle Vanedel, Rio di Assa, Torrente Vedesana).

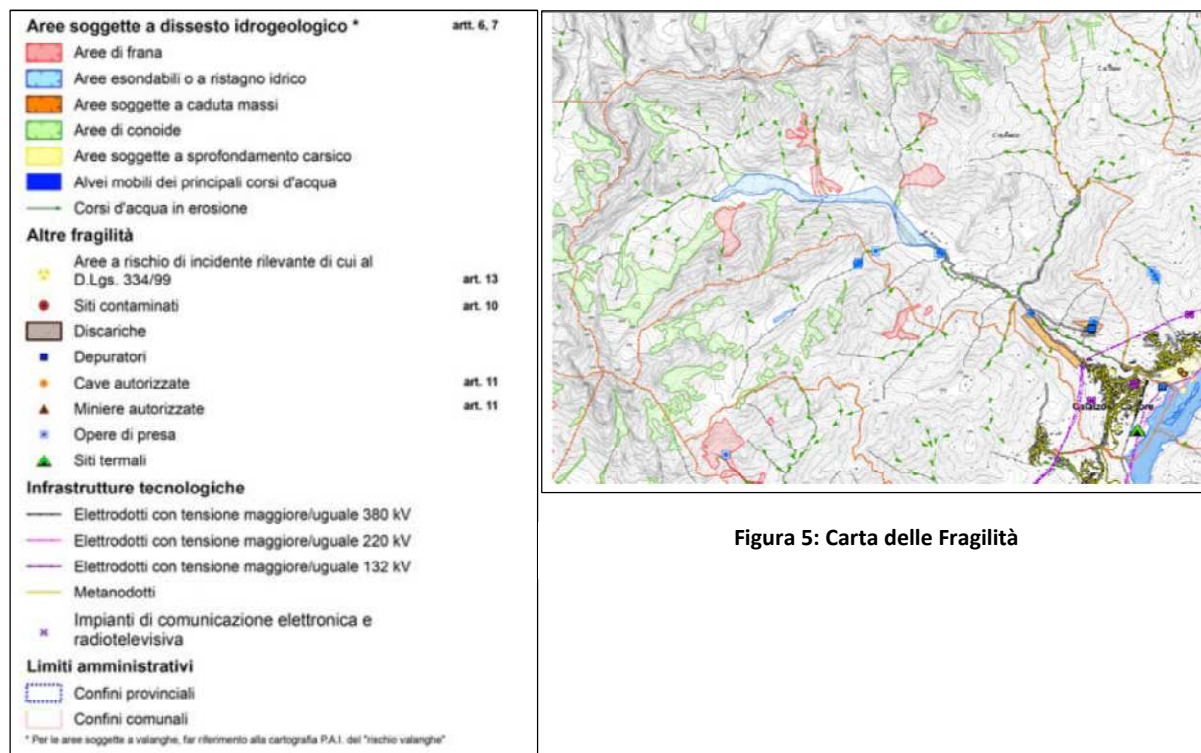


Figura 5: Carta delle Fragilità

La principale risorsa ambientale presente nel territorio comunale è rappresentata dalle aree montane classificate come SIC-ZPS.

Nel SIC è compreso anche il Ghiacciaio Inferiore dell'Antelao, in parte ricadente nel territorio comunale di Pieve di Cadore.

La porzione di versante nel quale ricade il sistema insediativo calaltino è individuato dai corsi d'acqua che confluiscono nel lago artificiale del Centro Cadore: l'Orsina e il Molinà, i quali costituiscono corridoi ecologici che connettono con il lago di Centro Cadore.

Il lago costituisce un'area nucleo della rete ecologica in virtù del suo ruolo di oasi faunistico venatoria, ma si configura anche come un *cul de sac* ecologico, sia per le drammatiche contrazioni ed espansioni delle riserve idriche, sia per la barriera ecologica costituita dalla diga di Sottocastello nel territorio comunale di Pieve di Cadore.



Figura 6: Lago di Centro Cadore

Nel fondovalle le principali discontinuità geomorfologiche del versante costituiscono limiti per l'insediamento e ne articolano il rapporto con il territorio aperto divenendo quindi un'importante occasione per connettere le principali matrici ecologiche con le aree prative di fondovalle e le aree urbanizzate.

La presenza di rilevanti formazioni alpine rende il territorio comunale estremamente ricco dal punto di vista delle associazioni vegetali e in particolare dei boschi.

Il paesaggio è costituito dalla composizione di un insieme limitato di elementi naturali ed antropici che si combinano variamente in relazione a:

- la quota e la natura del suolo (caratteristiche litologiche, clivometriche, geomorfologiche...);
- il grado di antropizzazione.

Dal paesaggio minerale e quasi del tutto privo di tracce antropiche delle terre alte, con il procedere verso valle si passa gradualmente alle esigue aree di prato-pascolo d'alta quota e a paesaggi sempre più caratterizzati dalla presenza di versanti boscosi. Gli elementi antropici, le sistemazioni artificiali del suolo, si concentrano lungo i corsi d'acqua della Val d'Oten, Molinà e Vedesana fino alla base del versante e al fondovalle. Qui il sistema insediativo forma uno spazio abitabile che interagisce strettamente con le residue aree prative, dando vita ad un rapporto di conflitto e muta difesa rispetto alle dinamiche di espansione del bosco.

L'ambito del lago infine, con la cornice di boschi, prati e la complessa morfologia delle rive che lo circondano, costituisce un paesaggio estremamente mutevole, legato alle continue e talvolta "drammatiche" escursioni del livello, sia alla presenza del ghiaccio nei mesi invernali.

Nel territorio comunale non sono presenti aree interessate da vincolo archeologico, né aree interessate da vincolo paesaggistico come Area di notevole interesse pubblico.

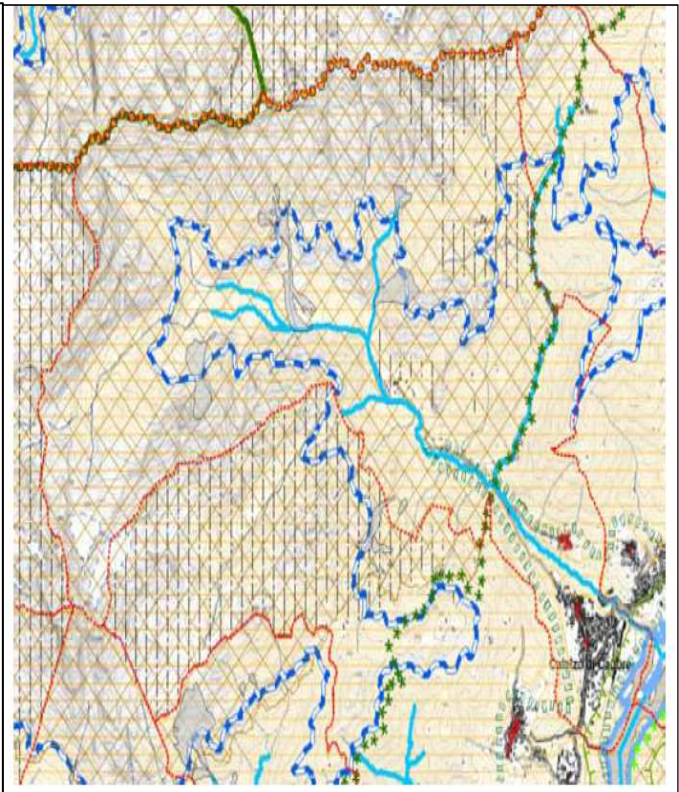
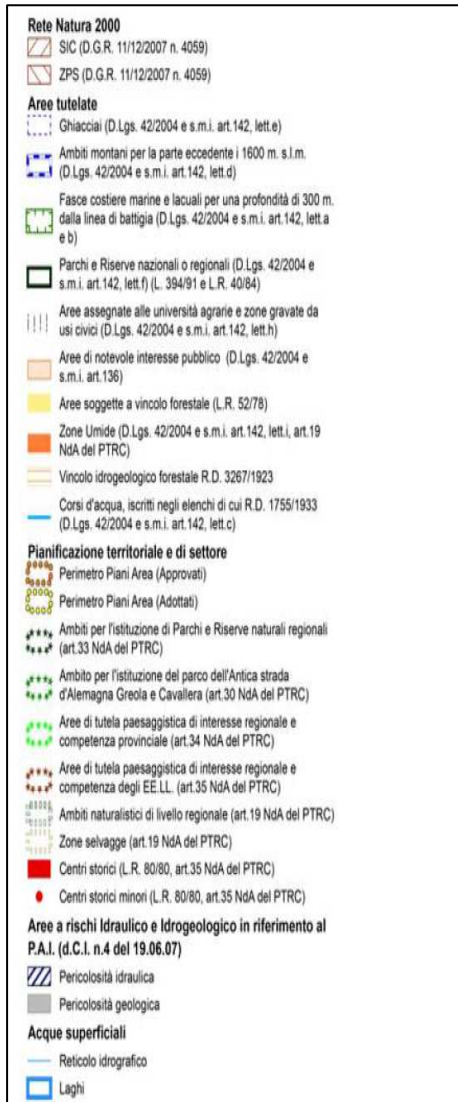


Figura 7: Carta dei Vincoli

2.3.1.3 Turismo

Nel comune di Calzalzo di Cadore vi è la necessità di attuare politiche per il rilancio del settore turistico (non adeguato alle risorse ambientali e storico artistiche).

Dopo l'impennata del 2011 che ha registrato il +11% di presenze e +6,6% di arrivi, si è verificato un assestamento per il 2012 pari a -3,65% sulle presenze e -3% sugli arrivi (figure 8,9,10).

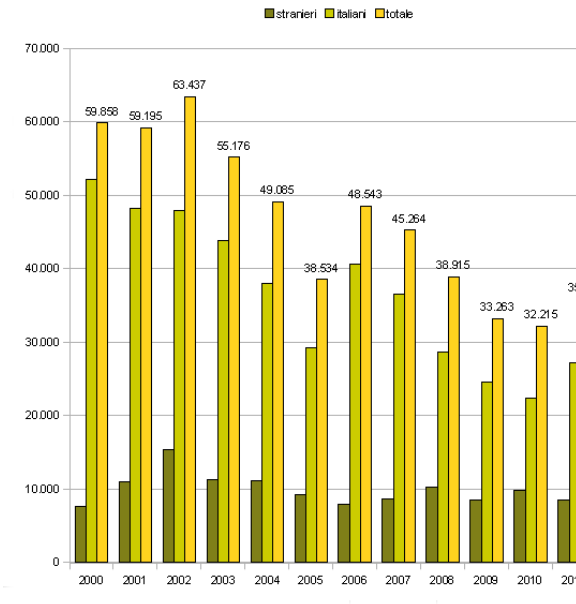


Figura 8: Presenze turistiche a Calzalzo di Cadore 2000-2012

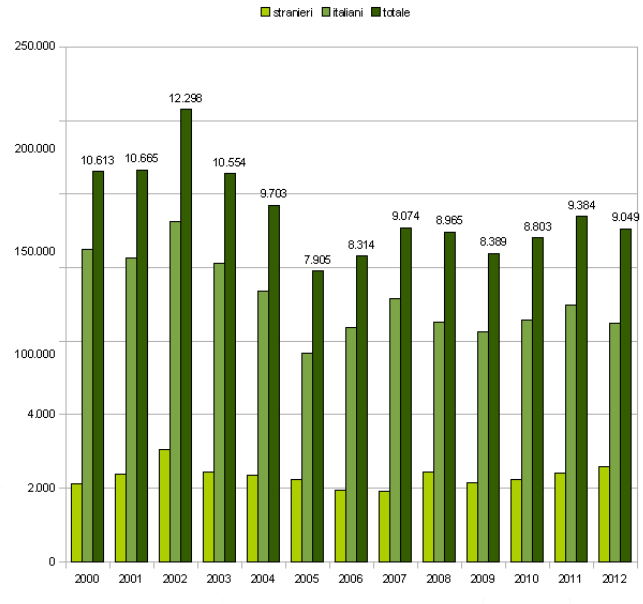


Figura 9: Arrivi turistici a Calzalzo di Cadore tra il 2000 e il 2012

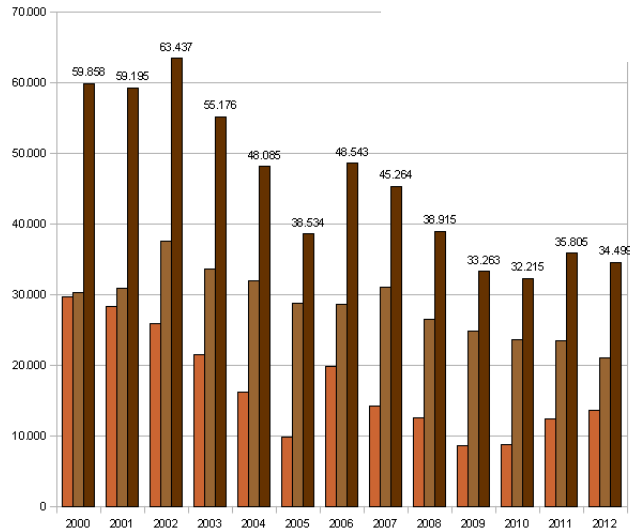


Figura 8: Presenze turistiche a Calzalzo di Cadore tra il 2000 e il 2012 suddivise tra alberghiere e complementari

2.3.2 Domegge di Cadore

Il comune di Domegge di Cadore è localizzato nella parte nord-orientale della provincia di Belluno, al confine con il Friuli Venezia Giulia, confinante con gli abitati comunali di Auronzo di Cadore, Lozzo di Cadore, Lorenzago e Calalzo di Cadore.

La superficie territoriale si estende per circa 50 km² con altitudini comprese fra i 650 m.s.l.m nella parte vecchia della frazione di Vallesella e 1000 m.s.l.m nella frazione di Grea.

Il territorio è caratterizzato dalla presenza d'importanti rilievi montuosi, tra i quali i gruppi "Monfalconi", degli "Spalti di Toro", delle "Marmarole" (queste ultimi definiscono la vallata su cui scorre il Piave).

Il territorio comunale rientra nel bacino idrografico del fiume Piave ed è caratterizzato dal punto di vista fluviale proprio dalla presenza dello stesso fiume che si allarga nel lago di "Centro Cadore", oltre che da diversi torrenti, tra cui il Rio Baion, il Rio Molinà, il Rio Rin, Cridola e corsi minori.

La viabilità primaria è caratterizzata dalla presenza della SS 51 bis che rappresenta la principale infrastruttura viaria che attraversa tutto il territorio attraversando anche il centro storico. Tale tratta stradale rappresenta un importante collegamento con la SS 52 (collegamento con Forni di Sopra) e la SS 51 (collegamento con la Cortina d'Ampezzo).

La viabilità secondaria è articolata in un complesso sistema che spesso rappresenta l'unico modo per svincolare il centro storico dalle problematiche legate al traffico.

S'individuano i centri storici principali: Domegge, Vallesella (interessata da dissesti idrogeologici) e Deppo.

Da oltre 120 anni questi luoghi sono famosi per la produzione di montature per occhiali e ancor oggi meta ambita per acquistare i prodotti ottici.

2.3.2.1 Movimento anagrafico

Le dinamiche demografiche del Comune sono quelle caratteristiche dei territori di montagna. Un saldo naturale lievemente negativo al quale si associano fenomeni migratori di segno analogo hanno comportato, nei decenni dal 1981 al 2001, un limitato calo di popolazione.

In realtà il dato aggiornato all'agosto 2009 corrispondente a 2613 abitanti segna un significativo decremento di popolazione che riporta il Comune ai valori del 1901.

In gran parte il calo di popolazione è dovuto ad un saldo migratorio che negli ultimi 6 anni ha sempre fatto registrare valori negativi, accompagnando un saldo naturale che, seppure con valori meno rilevanti, è da tempo preceduto dal segno meno.

Il tasso medio di natalità tra il 2003 e il 2007 è stato pari a 6,3, inferiore sia a quello provinciale (8,1) sia alla media regionale (9,88).

Gli stranieri residenti nel 2008 erano 182, il 7% della popolazione residente, con una prevalenza della componente maschile. Si tratta quindi di una presenza superiore alla media regionale (6,12%) e più elevata rispetto ai valori registrati nella Provincia di Belluno (4,09%).

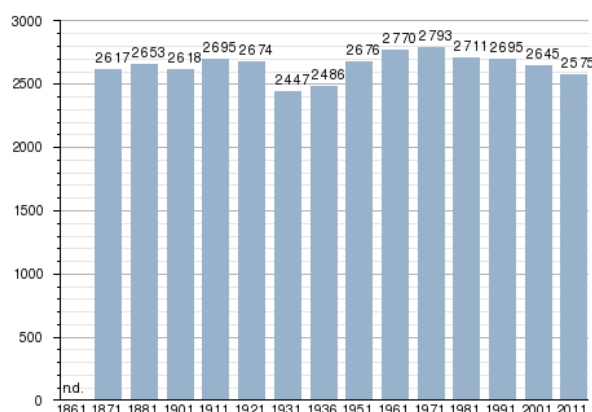


Figura 9: Abitanti censiti

Nel decennio 1998-2008 si è registrato un decremento del numero di famiglie che registra un valore di -6,8%, un dato in controtendenza rispetto ai valori positivi registrati nell'ultimo decennio nella provincia e nell'intera regione (4,5 e 7,6).

Il dato appare correlato ad un numero medio di componenti delle famiglie in linea con i valori provinciali e

inferiore a quelli regionali con 2,3 e 2,5 componenti. La variazione percentuale dei componenti del nucleo familiare è stata pari a zero, in linea con il valore regionale e inferiore alla media provinciale (pari a -3,2%).

In definitiva le famiglie risultano poco numerose, i loro componenti sono più anziani, nascono meno bambini rispetto alla media regionale ma anche rispetto alla provincia e c'è una componente di popolazione straniera residente la quale contribuisce a limitare i dati fortemente negativi delle dinamiche demografiche.

2.3.2.2 Aspetti geomorfologici generali e vincoli

Alla luce dell'inquadramento della situazione caratterizzante i suoli del Comune di Domegge, non si presentano problematiche di rilievo concernenti tale tematica, subordinatamente anche all'ambiente montano caratteristico del territorio. Per tale motivo, si considera "normale" l'insorgenza dei fenomeni franosi ed erosivi.

Gli unici elementi di debolezza sono riconoscibili nei fenomeni di cedimento superficiale e di sprofondamento, dovuti ai processi di dissoluzione del substrato gessoso innescati dalla circolazione idrica sub superficiale, che interessano la parte più bassa del territorio, attualmente occupata da insediamenti sia residenziali che industriali.

In prossimità degli abitati di Vallesella e Domegge, infatti, questi fenomeni hanno rappresentato in passato e rappresentano tuttora un problema per la stabilità degli edifici.

Si segnala, inoltre, l'incremento dei fenomeni di subsidenza, proprio di alcune aree del territorio comunale, a seguito di alcune modifiche apportate al sistema di circolazione idrica sotterranea.

Alla base di tali rilievi montuosi dolomitici si sono accumulati ampi conii detritici alimentati dai fenomeni erosivi dei rilievi stessi.

Rilievi minori presenti, anch'essi di natura calcareo-dolomitica, sono la Cresta di Po Croda, la Croda della Madonna, il Colle San Pietro e il Monte Brente sul versante destro, Collalto, il Colle dell'Elma, la Croda di Dalego ed il Monte Froppa sul versante sinistro.

Nelle zone di fondovalle, dove sono ubicati gli insediamenti abitativi e industriali, situati sul versante destro esposto a sud, la morfologia diventa meno aspra ed i pendii presentano pendenze meno accentuate. In tali zone sono presenti lembi di antichi terrazzi alluvionali e la morfologia risulta caratterizzata anche dalla presenza di numerose cavità superficiali (doline) legate a fenomeni di dissoluzione attivi nel substrato gessoso. Questi fenomeni risultano particolarmente evidenti in prossimità della frazione di Vallesella e dell'abitato di Domegge.

I fenomeni di dissesto legati alla dinamica dei versanti e dei corsi d'acqua, presenti nel territorio, sono attivi in corrispondenza dei rilievi dolomitici, lungo i principali corsi d'acqua ed in prossimità dei pendii, dove affiorano terreni e rocce di modeste caratteristiche meccaniche.

Per le caratteristiche complessivamente buone dei terreni e delle rocce affioranti nel territorio di Domegge, non sono attivi particolari fenomeni franosi, ed erosivi tranne che in prossimità dei maggiori rilievi dolomitici, spesso interessati da frane di crollo, e lungo i sottostanti depositi detritici, dove si possono manifestare fenomeni di trasporto di massa.

I fenomeni erosivi risultano limitati ad alcuni tratti degli alvei dei principali corsi d'acqua (Rio Baion e Giau Gran nel settore nord-occidentale e Torrente Cridola, Torrente Saccido, Torrente Talagona e Rio di Toro nel settore sinistro).

Lungo il versante destro della valle del Piave sono frequenti fenomeni legati a processi carsici attivi nel substrato roccioso costituito da gessi.

I gessi infatti risultano facilmente solubili in acqua, soprattutto se ricca di anidride carbonica, per cui in presenza di una circolazione idrica sono soggetti ad una progressiva dissoluzione con la conseguente formazione di cavità sotterranee, che provocano in superficie sprofondamenti e cedimenti.

In prossimità degli abitati questi fenomeni hanno sempre rappresentato e rappresentano tuttora il maggiore problema per la stabilità delle costruzioni, in particolare a Vallesella e a Domegge.

In corrispondenza della frazione di Vallesella, al di sopra dei gessi sono presenti, per uno spessore di una ventina di metri, conglomerati molto cementati seguiti in superficie da un livello modestissimo di depositi eluviali, per cui gli sprofondamenti si manifestano in genere bruscamente a causa di crolli negli stessi conglomerati.

In prossimità dell'abitato di Domegge, invece, lo spessore dei depositi di copertura sciolti risulta maggiore e perciò le cavità prodotte nei gessi si manifestano in superficie generalmente con cedimenti lenti e progressivi.

In seguito alla realizzazione dell'invaso di Pieve di Cadore, questi fenomeni si sono accentuati.

2.3.2.3 Turismo

L'abitato comunale di Domegge svolge un ruolo pressoché marginale come attrattore turistico.

Domegge, sebbene sia inserito in uno storico comprensorio turistico del Veneto e nonostante disponga di un importante patrimonio naturale (boschi, lago e montagne), rispetto ad altri ambiti territorialmente vicini, risulta interessato in minor misura dai movimenti turistici.

A Domegge l'anno scorso si è registrato un aumento delle presenze turistiche (1.620 in più, pari al 12,1% sul 2011, per un totale di 14.998) dovuto al maggiore interesse per le proposte legate allo sport e al tempo libero, oltre alle esigenze delle famiglie.

La possibilità di pernottare in rifugi comodi da raggiungere e accoglienti rappresenta un valore molto ben apprezzato da parte della clientela, che oggi più di ieri preferisce soggiorni brevi e magari ripetuti nel corso della stagione, estiva o invernale, raggiungendo località diverse nello stesso anno. Fra gli italiani la metà della clientela è veneta e senza dubbio la facilità di raggiungere il Cadore dalla pianura è un elemento importante.



Figura 10: Territorio di Domegge

Ad un anno di distanza quelle le statistiche sono (nuovamente) diminuite riportando le presenze a 13.040, inferiori anche a quelle del 2011, con una contrazione rispetto di 1.958 unità pari al -13,1%. Resta quindi confermato che, rispetto al 2000, la perdita di presenze per Domegge si è stabilita al 68,5%.

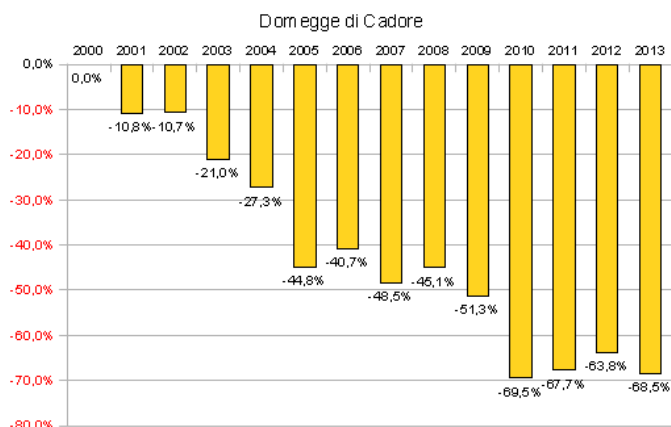


Figura 11: Andamento della differenza

2.3.3. Lozzo di Cadore

Il comune di Lozzo di Cadore è localizzato nella parte nord-orientale della provincia di Belluno, al confine con il Friuli Venezia Giulia, confinante con gli abitati comunali di Auronzo di Cadore, Domegge di Cadore e Lorenzago.

La superficie territoriale si estende per circa 30 km² con altitudini comprese fra i 683 m.s.l.m e 2570 m.s.l.m.

Il suo territorio è caratterizzato dalla presenza della splendida terrazza naturale di Pian dei Buoi (detto anche *la Monte de Sovergna* o semplicemente *la Monte*), a quota 1800 m che costituiva anticamente la principale fonte di sostentamento della popolazione.

Il territorio comunale rientra nel bacino idrografico del fiume Piave ed è caratterizzato dal punto di vista fluviale proprio dalla presenza dello stesso fiume che si allarga nel lago di "Centro Cadore.

Lozzo, accanto alle attività tradizionali nel settore del legno, dell'edilizia, del turismo e del commercio ha avuto anch'esso uno sviluppo vigoroso legato quasi interamente all'industria e all'artigianato nell'ambito del comparto dell'occhiale e delle lavorazioni collegate.

La viabilità primaria è caratterizzata dalla presenza della SS 51 bis che rappresenta la principale infrastruttura viaria che attraversa tutto il territorio attraversando anche il centro storico.

La viabilità secondaria è articolata in un complesso sistema che spesso rappresenta l'unico modo per svincolare il centro storico dalle problematiche legate al traffico.

2.3.3.1 Movimento anagrafico

Il Comune di Lozzo presenta una percentuale di popolazione inferiore a quella dei deu comuni sopra esposti, infatti non si registrano mai numeri superiori ai 2000 abitanti.

Dal 2001 al 2011 si è registrato un netto calo della popolazione passando da 1615 abitanti a 1497.

Il tasso medio di natalità tra il 2009 e il 2012 ha raggiunto valori negativi pari a - 1,67 %, dato ancora più negativo di quello registrato tra il 1006 e il 2012 - 1,30 %.

Gli stranieri residenti nel 2007 erano 206, il 13% della popolazione residente, con una prevalenza della componente maschile. Si tratta quindi di una presenza superiore alla media regionale (6,12%) e più elevata rispetto ai valori registrati nella Provincia di Belluno (4,09%).

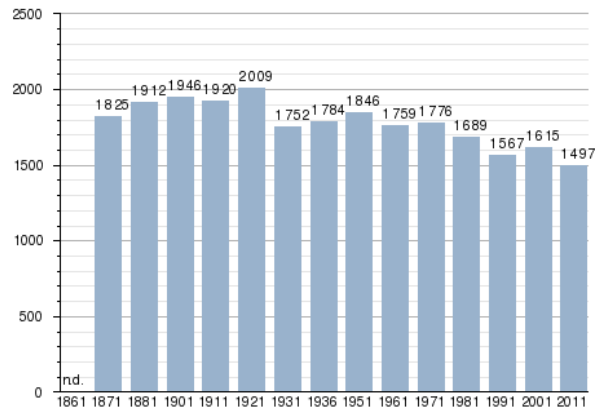


Figura 12: Abitanti censiti

2.3.3.2 Turismo

Dopo l'impennata del 2003 il Comune di Lozzo di Cadore ha registrato un netto calo negli arrivi turistici anche se, dal grafico sottostante, si può vedere una netta ripresa delle presenze turistiche nel 2012.

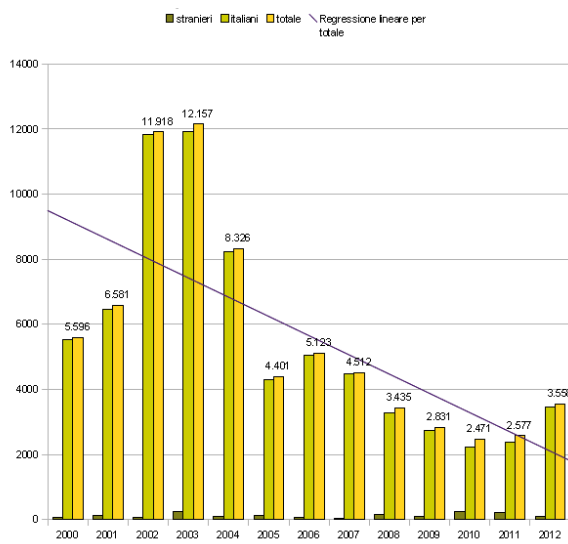


Figura 15: Arrivi turistici a Lozzo di Cadore tra il 2000 e il 2012

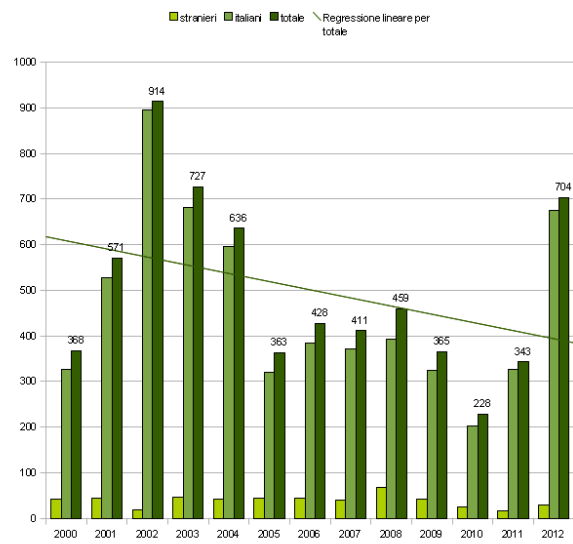


Figura 16: Presenze turistiche a Lozzo di Cadore tra il 2000 e il 2012

2.3.4 Cima Gogna

Cima Gogna è una frazione del comune di Auronzo di Cadore, in provincia di Belluno. Insieme a Misurina è l'unica frazione del comune a trovarsi fuori dalla Val d'Ansiei, sorgendo alla confluenza con la valle del Piave.

Confina con gli abitati comunali di Auronzo di Cadore e Lozzo di Cadore ed è raggiungibile, da questo Comune, percorrendo la SS 52.

Tutti i dati relativi a questa frazione verranno compresi nella successiva descrizione del Comune di Auronzo di Cadore.

2.3.5. Auronzo di Cadore



Figura 17: Lago di Santa Caterina

Posto ad una quota di m. 864 sul livello del mare e con circa 4000 abitanti, il Comune di Auronzo è un comune italiano della provincia di Belluno (Veneto) che si snoda per oltre 8 chilometri nel fondovalle più lungo del Cadore per una superficie complessiva di circa 220 km².

Il paese ingloba ben 11 frazioni: Cima Gogna, Cella, Villapiccola, Villagrande, Riziò, Reane, Pause, Ligonto, Giralba, S. Marco e Misurina ed è delimitato a nord dalle pendici meridionali del monte Aiarnola ed a sud, in parte, dall'esistente lago di S.Caterina, alimentato dal torrente Ansiei e che si è formato negli anni '30 a seguito della costruzione della diga omonima e che in corrispondenza della frazione di Cima Gogna si immette nel Piave. Attorno al predetto lago si snodano peraltro vari percorsi pedonali e ciclabili che consentono effettuare salutari passeggiate senza dover spostarsi in automobile e di poter apprezzare il panorama circostante con particolare riguardo alle Tre Cime di Lavaredo.

Fanno da sfondo ad Auronzo montagne come appunto le Tre Cime di Lavaredo, i Cadini, la Croda dei Toni, il Corno del Doge, paradiso degli alpinisti e terreno di feroce contesa durante la Grande Guerra. Dirigendosi lungo la S.R.48 "delle Dolomiti" che porta verso Misurina, si attraversa la località di Palus S. Marco ove ci si può addentrare nella Foresta di Somadida che fu donata nel 1463 dai Cadorini a Venezia per ricavarne il legname necessario alla costruzione delle sue navi.

Sotto il dominio della Serenissima Auronzo fu celebre anche per le sue miniere di piombo, zinco e argento, oggi esaurite.

Questo comune è una delle mete principali per il turismo estivo e invernale ed è raggiungibile da sud percorrendo la direttrice da Venezia - Belluno (uscita Autostrada A27) per proseguire lungo la Strada Statale 51 bis "di Alemagna" immettendosi successivamente sulla Strada Statale 52 "Carnica". Da nord/nord-ovest si accede al territorio comunale attraverso il Passo Tre Croci (da Cortina), dalla Val Pusteria salendo da Carbonin e dal Comelico attraverso il P.sso di S. Antonio.

Per quanto riguarda gli esistenti collegamenti ferroviari, i treni giungono fino alla Stazione di Calalzo di Cadore e da qui è disponibile il servizio autobus che consente di raggiungere tutti i paesi del Centro Cadore.



Figura 18: Cartina trasporti

2.3.5.1 Movimento anagrafico

Il Comune di Auronzo di Cadore risulta essere il comune più popolato tra quelli presi in considerazione ma anche qui si è registrato un netto calo della popolazione. Se infatti tra la fine dell'800 e l'inizio del '900 si registravano più di 4000 abitanti, raggiungendo il picco di 4500 (nel 1881 e 1921), oggi il valore è molto al di sotto di tale cifra raggiungendo il valore minimo, pari a 3453, nel 2011.

Il tasso medio di natalità ha registrato tra il 2009 e il 2012 una diminuzione pari al -1,30 %, dato che risulta essere maggiore del tasso medio di natalità registrato tra il 2006 e il 2012 pari a - 0,89 %.

Gli stranieri residenti nel 2009 erano 100, il 2,8% della popolazione residente, con una prevalenza della componente maschile. Si tratta quindi di una presenza inferiore alla media regionale (6,12%) e ai valori registrati nella Provincia di Belluno (4,09%).

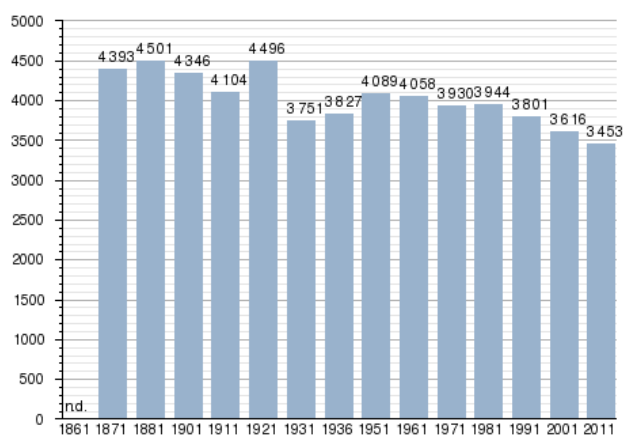


Figura 19: Abitanti censiti

2.3.5.2 Aspetti geomorfologici generali

Con riferimento alle figure sottostanti, che rappresentano la carta delle zone speciali (ZPS- figura 20) e la carta dei siti d'importanza comunitaria (SIC- figura 21) si può notare come il territorio del Comune di Auronzo sia interessato da diverse zone soggette a vincoli ma nelle immediate vicinanze del centro abitato (zona che sarà interessata dal progetto) non ci sono limitazioni.

Si può notare anche come le zone speciali e i siti d'importanza comunitaria siano praticamente gli stessi.



Figura 13: zone protette speciali (ZPS)

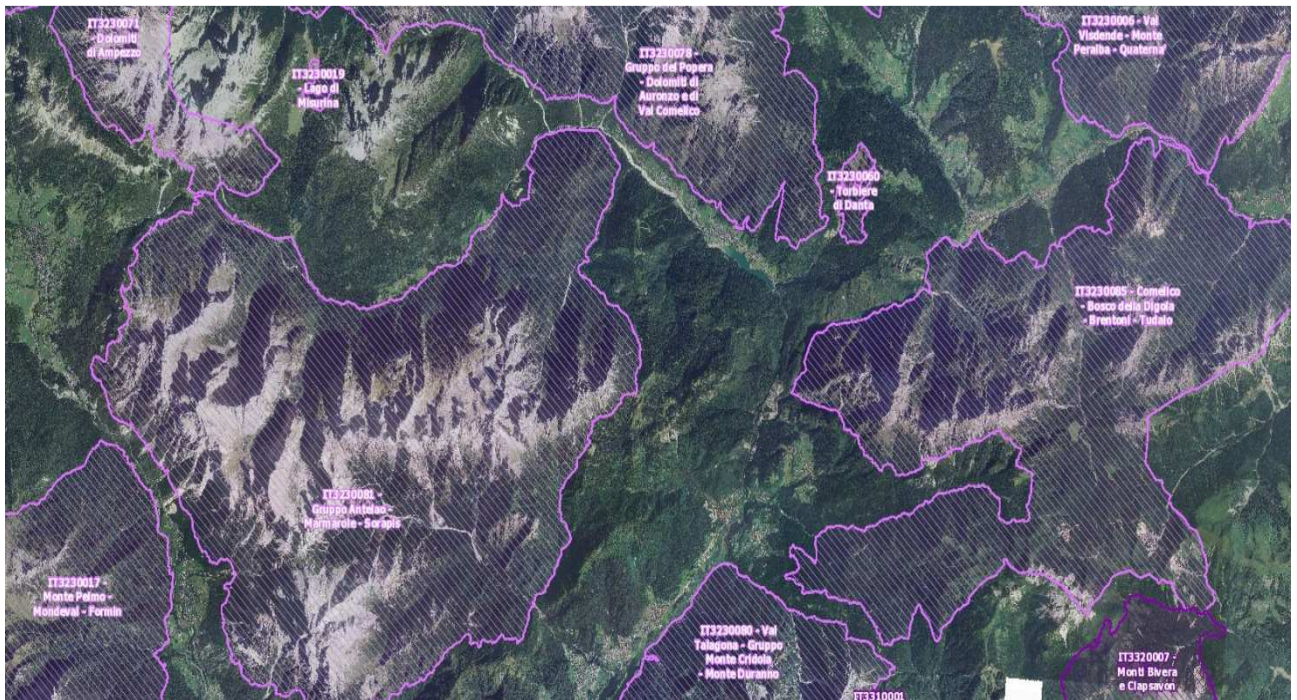


Figura 14: SIC siti importanza comunitaria (SIC)

2.3.5.3 Turismo

Il turismo ad Auronzo è importante non solo per il comune stesso ma anche per l'intero Centro Cadore. In termini di presenze vale il 70% (67,18%, dati del 2012) e se rapportato al Cadore turistico (cioè tutti i paesi cadorini senza Cortina d'Ampezzo) vale un terzo di tutte le presenze (32,28%). Nel confronto provinciale si posiziona al 4° posto (nel 2012, era al 3° nel 2011) con il 6,95% delle presenze. Nonostante ciò si è riscontrato negli anni un calo costante delle presenze; gli arrivi risultano in aumento ma solo perchè sostenuti dall'estero mentre quelli nazionali risultano stabili (figura 22,23,24).

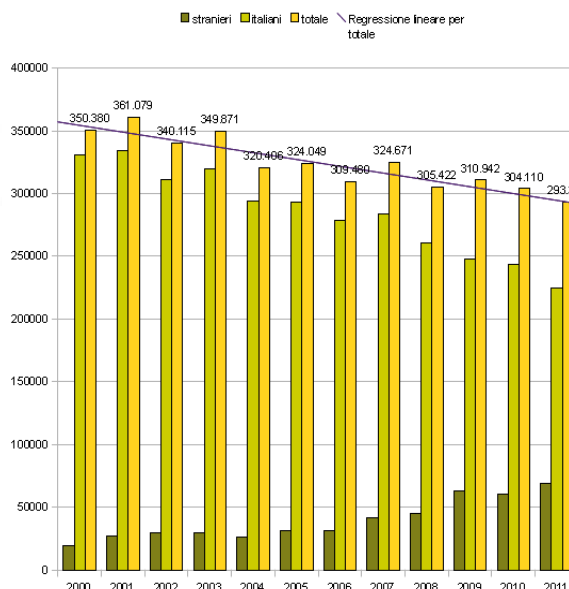


Figura 22: Presenze turistiche ad Auronzo di Cadore tra il 2000 e il 2012

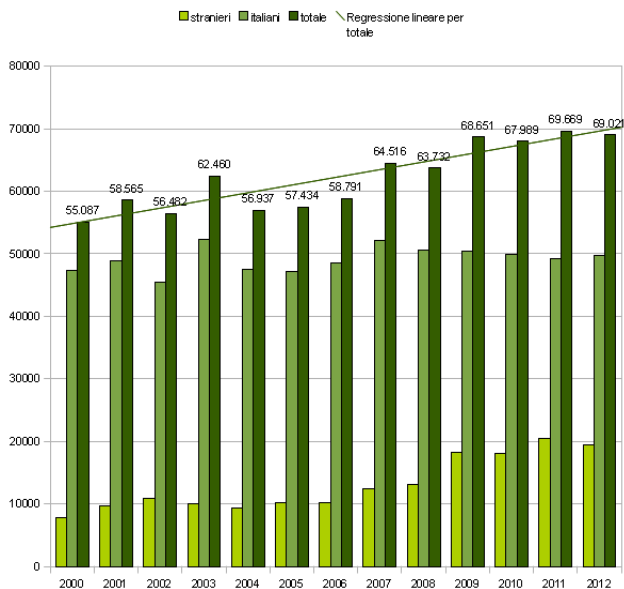


Figura 23: Arrivi turistici ad Auronzo di Cadore tra il 2000 e il 2012

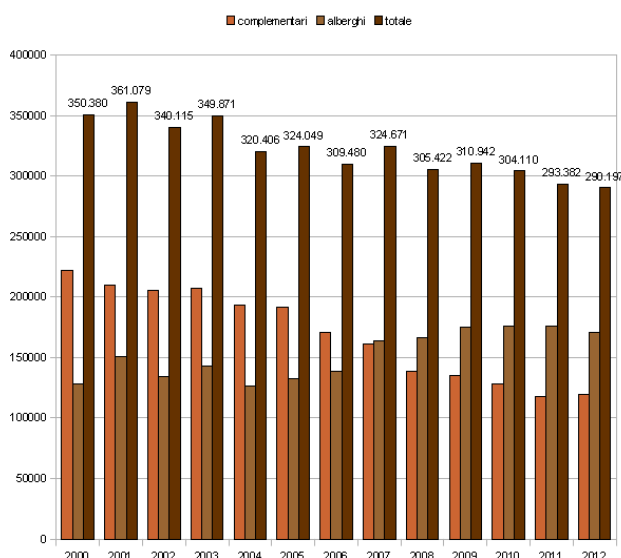


Figura 24: Presenze turistiche a Auronzo di Cadore tra il 2000 e il 2012 suddivise tra alberghiere e complementari

CAPITOLO 3: Casi simili di ferrovia esistenti

3.1. Ferrovia della Stubaital

La Ferrovia della Stubaital è una linea a scartamento metrico dell'Austria oggi esercita come tranvia urbana ed extraurbana. Unisce Innsbruck al circondario della valle delle Alpi dello Stubai; dalla piazza della stazione, a Innsbruck, attraversa un percorso urbano sui binari tranviari della città immettendosi, dopo il terminale vecchio della Stubaitalbahn, nei binari in sede propria.



Figura 16: Tram di Innsbruck

3.1.1 Storia

Le prime istanze per la costruzione di una ferrovia per Telfes e Fulpmes risalgono al 1886; il progetto, dell'ingegnere Von Schwind, prevedeva anche un proseguimento sino a Matrei innestandosi qui alla Ferrovia del Brennero. Nel 1900 venne accordata la concessione per un progetto con trazione a vapore, dell'ingegnere Riehl, limitato a Fulpmes. Nel 1902 tuttavia lo stesso progettista proponeva alla AEG (produttore di elettrodomestici di origine tedesca) l'adozione della trazione elettrica a corrente alternata monofase, allora sperimentale e agli albori, a patto che questa concorresse alle spese di costruzione della ferrovia. La concessione venne accordata ufficialmente con atto giuridico del 17 agosto 1903 assegnando alla linea la qualificazione di ferrovia. I lavori iniziati nel 1903 si conclusero all'inizio dell'estate del 1904 inaugurando la nuova linea, il 31 luglio dello stesso anno, con trazione elettrica monofase a tensione di 2.500 volt a 42,5 Hz. Il servizio venne svolto con elettromotrici a carrelli in grado di trainare anche carrozze a due assi e carri merci. Nel 1926 la tensione di linea venne innalzata a 3000 volt a frequenza industriale (50 Hz).

Nel 1979 la ferrovia fu oggetto di un esperimento che, rivelatosi positivo, portò alla conversione della trazione elettrica in corrente continua a 800 volt: la ferrovia venne alimentata alla tensione suddetta immettendovi un tram articolato a due casse di Innsbruck.

I soddisfacenti risultati della prova portarono alla trasformazione definitiva degli impianti collegati ad un percorso urbano fino alla stazione centrale delle ÖBB (ferrovie federali austriache), a partire dal 2 luglio 1983, all'introduzione dell'orario cadenzato e all'acquisto di materiale rotabile moderno.

3.1.2 Caratteristiche

La Stubaitalbahn è una linea dalle caratteristiche prettamente tranviarie:

- lunghezza di 18,2 km a scartamento ridotto,
- elettrificata,
- raggi minimi di 40 m,
- acclività massima del 46%,

inoltre il suo percorso si sviluppa per il 70 % in curva.

Oggi è utilizzata da rotabili di tipo tranviario tra Innsbruck e Fulpmes in Tirolo. Nel percorso cittadino di Innsbruck, usa le locali rotaie del Tram. Alla stazione della Stubaital, inizia il tronco extraurbano.



Figura 26: Elettromotrice tranviaria nel 2005

3.1.3 Percorso

Il percorso (figura 27) a doppio binario inizia alla stazione ferroviaria principale di Innsbruck, attraversa il distretto di Wilten e i villaggi di Natters, Mutters, Kreith, and Telfes.

Tra la stazione della Stubaital e Fulpmes il percorso è a binario unico con raddoppi per incrocio in 8 stazioni: Sonnenburgerhof, Hölltal, Mutters, Feldeler, Kreith, Telfer Wiesen, Luimes, Telfes.

La stazione terminale di Fulpmes, ha 3 binari e la rimessa.



Figura 27: Stazioni e fermate

3.2 Bernina Express

Il Bernina Express è un treno espresso della compagnia ferroviaria svizzera Ferrovie Retiche che copre la tratta tra Tirano, St Moriz e, dopo un cambio di motrice, Coira.

Il percorso comprende le ferrovie dell'Albula e del Bernina.

Questo treno, importante dal punto di vista turistico, percorre un itinerario di notevole interesse paesaggistico, reso più apprezzabile dalle speciali carrozze panoramiche di cui è dotato.



Figura 17: Interno di una carrozza panoramica

3.2.1 Storia

Il Trenino Rosso del Bernina nacque verso la fine del 1800, grazie ad una semplice iniziativa di ingegneri di mettere a servizio una ferrovia che passasse tra le 3 valli della catena montuosa alpina. Lo scopo era collegare i centri principali delle zone alpine e sviluppare il settore turistico. Il percorso fu progettato con idee economiche di base, infatti si voleva creare un mix turistico-culturale-economico.

Alla fine del 1800 il Bernina doveva rappresentare un collegamento tra nord e sud per il trasporto merci. Sin da subito i corrieri sfidavano nelle stagioni invernali le intemperie e il gelo, tutto questo portava ad un arresto del viaggio. A causa di questi disagi, la popolazione richiedeva un collegamento ferroviario con un trasporto più rapido e moderno. Grazie a queste sollecitazioni e un ottimo progresso tecnologico nacque la famosa linea del Trenino Rosso del Bernina.



Figura 29: Trenino rosso del Bernina

La Ferrovia Retica avrebbe potuto viaggiare sin dal primo giorno con l'energia rinnovabile del Lago Bianco. Nella concessione per la linea del Bernina è inoltre formulata espressamente la condizione di fornire l'energia elettrica a condizioni convenienti per il funzionamento della ferrovia del Bernina.

Nel dicembre 1899 la ditta inglese General Water Power Limited ottenne dal governo elvetico la concessione per la costruzione della Ferrovia del Bernina, ma fu solo nel 1902 con l'apertura del tronco ferroviario Sondrio-Tirano che iniziò a concretizzarsi l'idea di una ferrovia che da St. Moritz arrivasse a Tirano, che avrebbe avuto la

possibilità di collegarsi all'intera rete italiana e, più in generale, alla rete europea.

Nel 1905 venne indetto un referendum nelle cittadine di Brusio, Poschiavo, Pontresina e St. Moritz, al fine di chiedere il parere dei cittadini direttamente interessati: ottenuto il consenso di quasi tutti i votanti, il nuovo progetto venne presentato nell'inverno del 1905 e venne approvato dal Governo Centrale il 2 marzo 1906. Solo due mesi dopo i lavori vennero inaugurati (1 maggio 1906).

Nella progettazione del lato nord della linea del Bernina fino all'Alp Grum, la prima ad essere realizzata, gli ingegneri non incontrarono grandi difficoltà. Uniche eccezioni furono il gradino di Montebello, tra Morteratsch e Bernina Suot, superabile con un tornante, e il percorso tra Pontresina e Surovas che richiedeva la realizzazione di un percorso tortuoso e con forti pendenze fino al 70%.

Dopo l'inaugurazione della tratta Pontresina-Morteratsch e Poschiavo-Tirano a luglio del 1908, seguirono quindi ad agosto dello stesso anno la Celerina Staz-Pontresina e la Morteratsch-Bernina Suot, mentre si dovette attendere l'anno successivo, a luglio del 1909 per vedere realizzate le tratte St.Moritz-Celerina Staz e Bernina Suot-Ospizio Bernina, che completò la prima tratta tra St.Moritz e il culmine della linea al Passo del Bernina.

Contrariamente al lato nord, il versante sud del passo del Bernina creò notevoli problemi ai costruttori che dovevano superare un dislivello di 1200 metri su una distanza orizzontale di meno di 8 chilometri. Si doveva tracciare una linea che garantisse la massima sicurezza rispettando la pendenza massima del 70% e raggio minimo di 45 metri. A questo scopo tra Alp Grum e Poschiavo si impose la costruzione di nove gallerie, diversi ponti in pietra e tre viadotti con parapetto, mentre tra Miralago e Tirano, presso la stazione di Brusio, comportò la costruzione di un doppio tornante e del viadotto elicoidale.

I lavori furono completati il 5 luglio 1910, con la conseguente apertura della linea con i suoi 61 km di binari e una pendenza del 70%. Lunga circa 60 km, integralmente ad aderenza naturale ed alimentata a 1000V in corrente continua, il servizio era garantito da un gruppo di 17 elettromotrici costruite dalla Alioth di Munchenstein.

Dopo i primi periodi di esercizio, per garantire una maggiore sicurezza da slavine e depositi nevosi, vennero realizzate alcune modifiche di percorso: la curva della "Scala" tra Alp Grum e Ospizio Bernina venne sostituita con una linea diretta sistemata su un terrapieno, furono corrette delle curve presso l'Ospizio Bernina ed il tracciato sulle Alpi da Buond venne rimosso dalla strada che segue il Piz Lagalb e collocato sul fondovalle.

Durante la Prima Guerra Mondiale si determinò un grave crollo del numero dei passeggeri che arrecò numerose difficoltà a questa piccola ferrovia alpina. Questa situazione di estremo disagio durò fino al 1 gennaio 1942 quando la Ferrovia del Bernina entrò a far parte della Ferrovia Retica.

Potenziata negli anni la dotazione dei mezzi motore, con l'acquisto di nuove elettromotrici più potenti e moderne, nel 1973 la ferrovia del Bernina vede arrivare sui suoi binari una grande novità: nasce il Trenino Rosso del Bernina che collega direttamente Tirano con Chur, il capoluogo della regione. Il mito Trenino Rosso del Bernina arriva fino all'estremo oriente. Sempre nel 1973 viene infatti siglato il gemellaggio ufficiale tra la Ferrovia Retica e la Hakone-Tozan Railway, una ferrovia a nord di Tokyo realizzata prendendo come riferimento proprio la linea tra Tirano e l'Engadina.

Con l'arrivo del nuovo millennio la linea ha visto migliorare notevolmente l'offerta con servizi sempre più dedicati alla vocazione turistica e ad un maggiore confort di viaggio: nel 2000 infatti sono entrate in servizio le nuove carrozze panoramiche costruite dalla Stadler Altenrhein capaci di 34 posti nella classe superiore e 44 nella seconda. Negli anni la ferrovia non ha smesso di percorrere i 61 km.

Nel 2010 la linea del Bernina ha compiuto cento anni e in questo arco di tempo la linea non ha perso nulla del suo fascino dall'entrata in funzione nel 1910.

La costruzione della linea Tirano-Coira venne completata nel 1910 con l'inizio del servizio nel 1913, anche se il tratto Tirano-Sankt Moritz era stato già inaugurato il 1° luglio 1908.

3.2.2 Caratteristiche

Le caratteristiche della linea percorsa dal Bernina Express sono:

- lunghezza 60 km complessivi,
- dislivello totale di 1.824 m,
- pendenze fino al 70%,
- percorso ad aderenza naturale senza l'uso di alcun sistema a cremagliera,
- massima altitudine raggiunta è 2.253 m s.l.m. in corrispondenza del passo del Bernina, mentre quella minima è di 429 m s.l.m. a Tirano.

Il percorso del Bernina Express riveste un particolare interesse dal punto di vista ingegneristico e architettonico comprendendo complessivamente 55 tunnel e gallerie coperte, 196 viadotti e ponti, tratti a pendenza elevata che coprono ampi dislivelli.

Tra le opere degne di nota vi sono:

- il viadotto Landwasser,
- le gallerie a spirale Bergün-Preda,
- il tunnel dell'Albula,
- il viadotto elicoidale (70 m di raggio con pendenza costante del 70 %) che copre il dislivello di 30 metri tra Brusio e Campocologno.



Figura 30: Viadotto elicoidale

3.2.3 Percorso

60,688	Tirano (RhB) / Tirano (RFI)	429 m s.l.m.
Linea RFI per Lecco		
58,14	Confine Italia-Svizzera	530 m s.l.m.
57,649	Campocologno	553 m s.l.m.
56,162	Campascio	637 m s.l.m.
53,875	Brusio	780 m s.l.m.
50,786	Miralago	965 m s.l.m.
47,957	Le Prese	965 m s.l.m.
47,066	Le Prese (incrocio)	965 m s.l.m.
45,300	Li Curt	998 m s.l.m.
43,618	Poschiavo	1.014 m s.l.m.
42,020	Priviasco	1.119 m s.l.m.
38,179	Cadera	1.383 m s.l.m.
33,074	Cavaglia	1.692 m s.l.m.
29,505	Stablini	1.934 m s.l.m.
27,086	Alp Grüm	2.091 m s.l.m.
22,324	Ospizio Bernina	2.253 m s.l.m.
17,866	Bernina Lagalb	2.099 m s.l.m.
16,800	Bernina Diavolezza	2.082 m s.l.m.
15,716	Bernina Suot	2.046 m s.l.m.
12,165	Morteratsch	1.896 m s.l.m.
7,257	Surovas	1.822 m s.l.m.
5,788	Pontresina	1.774 m s.l.m.
Linea RhB per Samaden e Scuol		
3,509	Punt Muragl Staz. Ferrovia del Muottas Muragl	1.728 m s.l.m.
2,028	Celerina Staz.	1.716 m s.l.m.
Linea RhB per Thusis		
0,000	St. Moritz	1.775 m s.l.m.

Figura 31: Stazioni e fermate

La linea ferroviaria attraversa il Cantone dei Grigioni: passa per Coira, l'Engadina, affianca il corso del fiume Albula, valica il passo del Bernina e percorre la Valposchiavo e la Val di Pila fino a Brusio e Tirano.

Il treno percorre 2,5 km in territorio italiano fino alla stazione di Campocologno, mentre il restante percorso è in territorio svizzero. Per tale motivo, prima dell'entrata in vigore in Svizzera degli Accordi di Schengen, chi partiva da Tirano doveva espletare le formalità doganali all'imbarco.

Il Bernina Express si inserisce tra i normali "trenini rossi" regionali che si alternano con cadenza oraria nelle giornate estive. Gli orari di servizio variano nel periodo estivo (da maggio a ottobre) e invernale (da ottobre a maggio) con tre corse giornaliere (andata e ritorno con alcuni cambi intermedi) sulla tratta Tirano-St Moritz e due corse giornaliere (una sola in estate) sulla tratta St Moritz-Coira. Nel periodo invernale viene ridotta la cadenza dei treni regionali, ma non quella del Bernina Express data la sua elevata valenza turistica.

3.3 Ferrovia Trento-Malè-Marilleva

La ferrovia Trento–Malè–Marilleva è una ferrovia a trazione elettrica a scartamento ridotto di 1000 mm che collega la città di Trento con Marilleva, ad un'altezza di 900 m s.l.m., transitando per Malè, capoluogo della Val di Sole. Nel suo percorso attraversa la Piana Rotaliana, la Val di Non e la Val di Sole, affiancando in molti tratti il Noce.

La gestione delle infrastrutture è affidata a Trentino trasporti (TT), mentre il servizio è espletato da Trentino trasporti esercizio.

3.3.1 Storia

Paolo Oss Mazzurana, importante politico di fine Ottocento e sindaco di Trento, propose nel 1891 di realizzare alcune ferrovie laterali alla linea del Brennero, allo scopo di collegare rapidamente il capoluogo con le vallate trentine (Non, Sole, Fiemme).

La Dieta tirolese non si dimostrò particolarmente favorevole alla nuova infrastruttura, che poteva diminuire l'influenza di Bolzano e del Tirolo tedesco sull'Anaunia.

La concessione per la costruzione di una ferrovia locale fra Trento e Malè fu rilasciata nel 1905 dall'impero Austroungarico, di cui allora il Trentino faceva parte. Lo scartamento ridotto adottato era di 1000mm, con alimentazione elettrica a corrente continua a 800 Volt.

La costruzione della linea cominciò nel 1907. Fu inaugurata l'11 ottobre 1909 e tre giorni dopo fu aperto il tronco Cles – Trento.

La Trento –Malè fu la prima ferrovia a trazione elettrica ad essere costruita sotto la direzione delle Imperial Regie Ferrovie Austriache dello Stato (KKStB); anche l'esercizio venne affidato a queste. Nel 1919, con il passaggio del Trentino all'Italia, l'esercizio tranviario passò alle Ferrovie dello Stato.

Durante gli anni venti i comuni della valle sollecitarono l'ente pubblico a potenziare la linea, ma senza esito a causa del forte impegno finanziario richiesto dai lavori.

Nel giugno del 1936 avvenne il secondo cambio di direzione: la Trento-Malè passò dalle FS ad una nuova società con sede a Roma, la Società Anonima Trasporti Pubblici.

Nel 1934 venne chiusa, e sostituita da una linea automobilistica, la ferrovia locale dell'Alta Anaunia la cui stazione di Dermulo era raccordata a quella omonima della Trento-Malè. Anche la linea principale avrebbe seguito lo stesso destino se l'esercizio non fosse stato rilevato da una società anonima, costituita da capitale privato, che non richiese sussidi allo Stato: la Società Anonima Trasporti Pubblici.

Al termine della Seconda Guerra Mondiale, l'obsolescenza dei mezzi e dell'armamento fu tale da far pensare ad un'immediata chiusura della struttura. Nel 1945, la società concessionaria fu autorizzata ad esercire direttamente la tranvia. Il tratto tra la periferia di Mezzocorona e la stazione tranviaria di Mezzolombardo era a doppio scartamento, sia da 1000 sia da 1435 mm, con terza rotaia in quanto comune alla Feratela che raccordava Mezzolombardo allo stazione di Mezzocorona sulla linea del Brennero.

Nel 1948 venne quindi elaborato il progetto di una nuova linea ferroviaria da Trento a Malè, interamente in sede propria: il Consiglio di Amministrazione della nuova società optò per lo scartamento metrico.

Nel 1951 una legge stanziò per il progetto circa 2,3 miliardi di Lire. I lavori furono avviati due anni dopo per poi essere sospesi a causa della mancanza di fondi. Nel 1956 i cantieri furono riaperti e quattro anni dopo fu aperto all'esercizio il tratto tra la stazione tranviaria di Trento Torre Verde e Cles. Contestualmente fu soppressa l'intera linea tranviaria: per il servizio sulla nuova linea furono impiegati i vecchi rotabili tranviari, mentre quello sul tronco Cles – Malè fu provvisoriamente sostituito da un'autolinea. Nel giugno 1961 fu aperto il tratto ferroviario collegante queste due località. Nel 1964 fu completato il fabbricato della stazione di Trento Porta Centa la quale sostituì il vecchio capolinea



Figura 32: Elettromotrici della FTM a San Michele all'Adige

tranviario, per cui si decise di inaugurare solennemente la linea il 13 dicembre.

Nello stesso periodo entrarono in funzione le nuove elettromotrici delle Officine Meccaniche della Stanga e l'alimentazione fu innalzata a 3000 volt, come quella applicata sulla rete statale delle FS. Con la legge finanziaria per il 1987, la FTM ottenne 60 miliardi di Lire che furono impiegati per la costruzione di una nuova stazione capolinea a Trento, posizionata nei pressi di quella delle FS e che è stata inaugurata nel 1995, e per il primo lotto del prolungamento da Malè a Fucine.

A metà degli anni novanta, la Provincia autonoma di Trento ha finanziato il rinnovo degli armamenti e degli impianti di elettrificazione e di telecomunicazione. Nel 2002 la società FTM è stata inglobata in Trentino trasporti (TT), la nuova società intermodale di trasporto pubblico su gomma e rotaia del Trentino.

Il 5 maggio 2003 è stato aperto il prolungamento, di circa 10 chilometri, fino alla località turistica di Mezzana-Marilleva. Nel 2005, allo scopo di permettere il potenziamento della rete stradale a settentrione di Lavis, sono iniziati i lavori di interrimento della linea ferroviaria fra la stazione di Lavis e la fermata di Zambana. Il nuovo tratto, predisposto per il doppio binario è stato inaugurato il 6 settembre 2007.

Attualmente il progetto preliminare relativo al prolungamento della linea nel territorio del comune di Mezzana è stato approvato.

3.3.2 La tranvia

La Localbahn era una tranvia interurbana le cui caratteristiche principali erano:

- Lunghezza del tracciato 60 km di cui 43 in sede promiscua e 17 in sede propria,
- scartamento metrico da 1000 mm,
- elettrificata a 800 volt in corrente continua,
- rotaie Vignoles, in sede propria, lunghe 9 m e poggianti su traverse di legno,
- rotaie Phoenix, in sede stradale, lunghe 12 m,
- raggi di curvatura erano spesso inferiori a 100 metri negli attraversamenti dei centri abitati; inoltre le curve che avevano un raggio inferiore a 51 m erano tutte dotate di controrotaia.



Figura 33: La ET007 sulla Trento-Malè nel 2003

3.3.3 La ferrovia

La linea costruita negli anni cinquanta presenta queste caratteristiche:

- binario singolo,
- scartamento ridotto da 1000 mm (metrico),
- trazione elettrica a 3000 volt in corrente continua,
- rotaie Vignoles da 50 kg/m posate su traverse biblocco con attacchi Nabla.
- pendenza massima del 50 ‰,
- raggio di curvatura minimo è di 80 m,
- 23 ponti, il più lungo dei quali misura 456 m,
- 12 gallerie per una lunghezza totale di 4710 m,
- 18 passaggi a livello, alcuni dei quali sono in via di eliminazione grazie all'opera di interrimento della ferrovia tra gli abitati di Zambana e Lavis,
- 21 stazioni e fermate,
- velocità massima è di 90 km/h.

Il tratto tra Trento e Gardolo è a doppio scartamento a tre rotaie per permettere il transito dei convogli a scartamento ordinario da 1435 mm tra la ferrovia del Brennero ed il locale stabilimento della Whirlpool.

3.3.4 Percorso



Figura 34: Stazioni e fermate

La ferrovia Trento-Malè Marilleva parte dalla stazione di Trento, e poi si dirige prima verso nord fino a

Mezzolombardo, e poi verso nord-ovest attraverso la Valle di Non raggiungendo Marilleva, transitando per Malè, capoluogo della Val di Sole. durante il suo percorso affinaca in molti tratti il il fiume Noce.

Va sottolineato che in due punti la ferrovia viene ad incontrarsi con gli impianti di risalita ai campi di sci. Il primo a Daolasa ove, nel tardo autunno 2007, è stato inaugurato un nuovo punto di scambio con un impianto funiviario, la cui stazione di partenza coincide con quella del treno, e il secondo a Marilleva, attivo dal 2003, dove la ferrovia arriva a una distanza di 80 m dalla stazione di partenza della telecabina, facilmente raggiungibile con ascensore oppure tramite una breve scala.

3.4 Zillertal

La ferrovia della Zillertal è una ferrovia a scartamento ridotto bosniaco 760 mm di proprietà privata che attraversa la vallata dello Ziller unendo Jenbach a Mayrhofen nel Tirolo, in Austria.

3.4.1 Storia

Le origini progettuali di una ferrovia nella valle del fiume Ziller con origine a Jenbach risalgono agli anni settanta del XIX secolo. Il motivo della sua costruzione fu il cattivo stato delle strade, fatte di curve strettissime e sconnesse, a tratti paludosi, dove anche per le carrozze, il passaggio era difficoltoso.

Negli ultimi mesi del 1892 nacque anche un comitato promotore costituito dalle autorità locali ma l'approvazione tardò ancora un triennio ad arrivare assieme alle concessioni. Fu solo il 2 dicembre 1895 che l'atto di concessione venne rilasciato dal ministro delle Ferrovie Imperiali. In seguito a ciò, il 26 dicembre 1899, si costituì la Società per la ferrovia della Zillertal.

La linea ferroviaria entrò in funzione fino a Mayrhofen il 31 luglio del 1902. Dal 1928 al 1976 la ferrovia della Zillertal fu un mezzo di trasporto importante per la miniera di magnesite (oggi inattiva), e, nel periodo successivo, fu attiva nel trasporto di materiali per la costruzione di una centrale idroelettrica.

Nel 1956 il nome fu cambiato in "Zillertaler Verkehrsbetriebe AG", perché da quel momento fu mantenuto anche il bus di linea. Il risultato fu una moderna rete di trasporto pubblico, che soddisfò le esigenze dello sviluppo del traffico odierno.

3.4.2 Caratteristiche

La ferrovia Zillertal è dotata delle seguenti caratteristiche:

- lunghezza 32 km,
- singolo binario,
- scartamento ridotto di 760 mm,
- 35 ponti,
- velocità 35 km/h
- locomotive diesel per il traffico merci e da automotrici per quello viaggiatori

3.4.3 Percorso

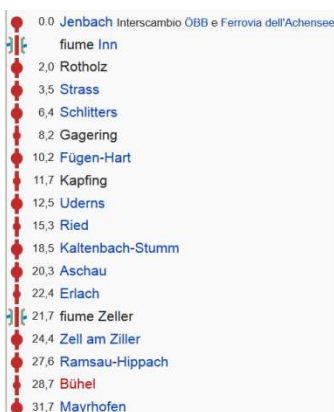


Figura 35: Stazioni e fermate

La linea ferroviaria collega Jenbach con Mayrhofen e durante il suo tragitto permette di godere e di contemplare le cittadine della valle come Fügen, Kaltenbach, Aschau, Schwendau, Zell am Ziller e Mayrhofen per le quali sono previste eventuali fermate o stazioni.

A Jenbach la Zillertalbahn ha coincidenza con i treni delle Ferrovie Federali Austriache della linea Salisburgo-Innsbruck a scartamento normale e con la Ferrovia dell'Achensee, (Achenseebahn), a scartamento metrico. Per questo motivo Jenbach presenta la singolarità di stazione con tre differenti scartamenti ferroviari.

3.5 Ferrovie in disuso

Nel diciannovesimo secolo il grado di modernità di un paese era conseguenza diretta dello sviluppo che la rete ferroviaria aveva sul territorio; maggiori erano i collegamenti e i chilometri di rotaia, maggiori erano le possibilità di sviluppo economico e produttivo dell'economia della nazione. L'innovazione tecnologica da una parte, e ben precise scelte politiche dall'altra, acuirono le difficoltà di sviluppo che la ferrovia, associata all'evoluzione e al progresso, avrebbe potuto conseguire.

Il completo abbandono delle strategie di sviluppo nazionali verso gli interessi e le opportunità che offrivano il trasporto su gomma, divennero così sempre più concreti: il treno divenne il mezzo antieconomico, inevitabilmente appartenente al passato. Le linee che le Ferrovie dello Stato consideravano in perdita, non avendo un bacino di utenza tale da giustificare il mantenimento, subirono una politica di interruzione del servizio, sostituito da auto-corse. I motivi di questa politica di tagli si possono ricercare innanzitutto dietro le pressioni degli enti locali che, interessati ad aree ferroviarie dismesse per realizzarne parcheggi, piazze, strade o parchi, spinsero l'ente competente ad interrompere servizi su rotaia poco utilizzati.

I primi tagli si possono dare all'inizio degli anni trenta, quando furono chiusi alcuni tratti assolutamente improduttivi (Mandela, Subiaco e l'Aquila, Capitignano).

Dopo la Seconda Guerra Mondiale molte linee ferroviarie nazionali furono distrutte e ricostruite, ma per alcune i gravi danni ne scongiuravano il ripristino.

La scarsa qualità del servizio, l'obsolescenza dei mezzi, e i frequenti ritardi non favorirono certo un ritorno dell'utenza, sempre di più orientata verso i comodi mezzi su gomma.

Nei primi anni ottanta fu redatto dalle Ferrovie dello Stato un ambizioso piano d'investimenti per cercare di innalzare il livello di qualità e di servizio, in sintonia con i tempi; nel 1987 fu effettuata una valutazione di tutte le strade ferrate italiane secondo la loro importanza nazionale ed economica per l'intera rete ferroviaria italiana.

L'allora Ministro dei Trasporti Claudio Signorile approvò un elenco di "linee non comprese nella rete d'interesse generale", destinate alla chiusura. Molti tronchi ferroviari nazionali, denominati "rami secchi", si avviarono quindi verso la soppressione. Nel territorio triveneto si assiste alla progressiva chiusura di tratte quali la Treviso-Portogruaro (peraltro oggi ripristinata), della Palmanova-San Giorgio di Nogaro e della Casarsa-Pinzano.

Non ultimo è l'aspetto riguardante il fondamentale e crescente turismo ferroviario che, in collaborazione con associazioni ambientaliste, dopolavori ferroviari, appassionati di trasporti, ha contribuito a fare rivivere alcune linee ormai abbandonate o fatiscenti, richiamando l'attenzione delle amministrazioni locali su un loro possibile riutilizzo.

Tra le linee ferroviarie oggi dismesse e molto vicina a quella oggetto di studio vi è la Calalzo - Dobbiaco.

3.5.1. Ex-ferrovia Calalzo - Dobbiaco

La ferrovia delle Dolomiti era una ferrovia di montagna in uso tra il 1921 e il 1964, che permetteva il collegamento di Calalzo di Cadore con Cortina d'Ampezzo e terminava a Dobbiaco; quindi interessava i comuni delle province di Belluno e Bolzano.

Il suo percorso in molti tratti era parallelo a quello della strada statale d'Alemagna, nella Valle del Boite e della Rienza.

Attualmente nel tratto Dobbiaco-Cortina d'Ampezzo la sede ferroviaria è costituita da un sentiero sterrato, utilizzato come percorso ciclabile in estate e pista per lo sci di fondo in inverno. Anche i fabbricati delle ex-stazioni sono generalmente in buone condizioni. Il tratto Cortina-Calalzo, invece, è stato recentemente convertito quasi interamente in pista ciclabile.

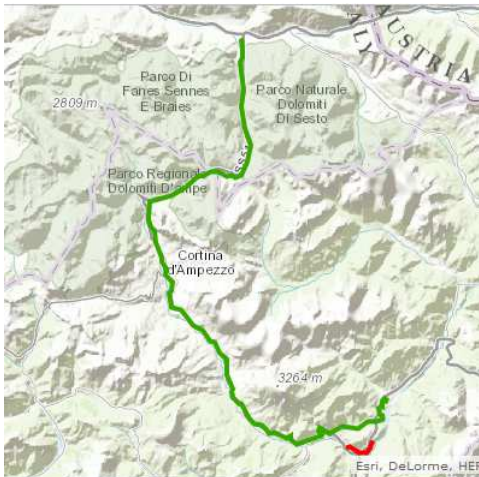


Figura 36: Tracciato ex ferrovia Calalzo - Dobbiaco



Figura 37: Viadotto in curva sulla val Orsina, tra S. Alipio e Calalzo Paese



Figura 38: Viadotto in curva ben conservato tra Cortina d'Ampezzo e Calalzo di Cadore (A. Marcarini, 2004)

3.5.1.1 Storia

Verso la fine del 1800 iniziò a manifestarsi nella conca ampezzana la necessità di un collegamento verso le zone circostanti; si pensava di realizzare un collegamento verso nord al paese di Dobbiaco e verso sud al paese di Calalzo di Cadore dove sarebbe arrivata la linea ferroviaria nazionale, aperta solo nel 1914.

Nel marzo 1905 venne autorizzato il progetto di costruzione di un collegamento ferroviario tra Cortina d'Ampezzo e Dobbiaco che però fu realizzato definitivamente solo parecchi anni più tardi.

Questa caratteristica ferrovia di montagna di fatto nacque nel 1916 per le esigenze belliche della Grande Guerra, che si combatté in gran parte nelle zone montane cadorine e ampezzane, e fece sorgere l'esigenza di un mezzo di trasporto di uomini e mezzi tra Cortina d'Ampezzo e Calalzo di Cadore. Nacque quindi come ferrovia Decauville su sede stradale; tratti di linea provvisoria costruiti dai militari del genio allungando semplicemente i binari sulla strada (l'attuale statale SS 51 Alemagna) per assicurare i rifornimenti alle truppe italiane del fronte a nord di Cortina.

All'inizio del 1917, il genio militare italiano iniziò i lavori di costruzione della ferrovia vera e propria tra Peaio e Cortina ma questi lavori si interruppero dopo la disfatta di Caporetto, nel novembre del 1917. I genieri austriaci però continuarono i lavori fino a Calalzo e posero su sede stradale una decauville, denominata in tedesco, Feldbahn, da Dobbiaco a Calalzo.

Finita la guerra la linea rimase in completo abbandono. Solo nella primavera del 1919 il genio militare intervenne a completare l'opera, utilizzando fra l'altro materiali posti in opera sulla tranvia Udine-San Daniele, prima che ne fosse decisa la riapertura di quest'ultima. La linea venne attivata nel giugno del 1921, usando per la trazione le locomotive abbandonate dagli austriaci; ma sotto la direzione militare, la linea andò avanti con forte deficit. Il traffico tra Cortina e Dobbiaco era limitato ai mesi estivi e a una coppia di treni a giorni alterni. Il 1° gennaio 1923 la ferrovia venne affidata al Regio Circolo Ferroviario di Bolzano che diede alla linea maggiore regolarità di servizio e realizzò un consistente aumento di traffico e quindi di introiti.

Data la favorevole esperienza, nell'estate del 1924 il Ministero dei Lavori Pubblici affidò a un'impresa privata l'esercizio della linea per 35 anni. Nel 1925 vennero acquisite due Locomotive di tipo Mallet, provenienti dalla Montepulciano-Fontago, in cambio della cessione di quattro vecchie Feldbahn, e realizzata una variante di tracciato a protezione dalle slavine.

Alcuni grandi miglioramenti furono fatti nel 1927 quando ogni paese attraversato dalla linea ferroviaria contribuì economicamente a un aggiornamento dei vagoni e dei locomotori, alcuni dei quali modernizzati mentre altri vennero comprati nuovi, al miglioramento del tracciato nelle curve e all'installazione di alcune lanterne semaforiche presso i passaggi a livello. Si parlò addirittura di un aggiornamento della linea da scartamento ridotto a scartamento normale ma il progetto non fu mai realizzato.



Figura 39: La stazione di Dobbiaco FS

Nel 1929, con l'avvento della trazione elettrica la ferrovia delle Dolomiti poteva finalmente assolvere le sue funzioni fondamentali: collegare il capolinea FS di Calalzo con la Val Pusteria e le linee per il Brennero e l'Austria e migliorare l'accesso turistico nella zona di Cortina d'Ampezzo.

Durante il secondo conflitto mondiale, Cortina venne trasformata in zona ospedaliera, così la ferrovia assunse l'onere del trasporto dei feriti provenienti dal fronte realizzando convogli-ospedale con i propri carri chiusi, dotati di brande.

Il dopoguerra e la motorizzazione privata iniziarono a infierire sulla ferrovia delle Dolomiti e iniziò quel fatale declino che porterà alla sua soppressione.

Nel periodo delle Olimpiadi invernali di Cortina del 1956; per far fronte al traffico previsto si acquistarono due nuovi elettrotreni, costruiti nel 1955 da Stanga/TIBB e immatricolati come ET007 ed ET008. L'officina di Cortina costruì nuove carrozze, furono risanati 20 chilometri di binario; la ferrovia fece fronte senza difficoltà a punte di traffico che raggiunsero i 7000 passeggeri al giorno.

Dopodiché il declino fu inesorabile, causa il calo di traffico, le riduzioni di personale e la mancanza di fondi. La manutenzione dell'armamento e del materiale rotabile divennero precarie e, proprio a causa di questa cattiva manutenzione, l'11 marzo 1960 si ebbe il più grave incidente di tutta la storia della ferrovia delle Dolomiti.

Un treno passeggeri, proveniente da Cortina, ad Acquabona, a causa della rottura di una boccola del bagagliaio, uscì dai binari; una vettura, che si trovava in curva si rovesciò e fu trascinata per alcuni metri

dalla motrice rimasta sulle rotaie. Il bilancio fu 2 morti e 27 feriti. L'incidente di Acquabona fu il colpo di grazia per la ferrovia che in tanti anni non aveva mai lamentato incidenti. Dal 3 dicembre 1961 si decise di collegare Dobbiaco con Cortina con un servizio di autobus. Il servizio ferroviario fu parzialmente ripreso il 30 dello stesso mese, per cessare definitivamente il 23 marzo 1962. Sulla Cortina-Calalzo si proseguì stentatamente fino alle ore 18,20 del 17 maggio 1964 quando partì da Cortina l'ultimo convoglio viaggiatori.

In breve tutto il materiale utilizzato dalla ferrovia (binari, traversine, cavi elettrici e piloni) fu fatto sparire e rivenduto dalla gente e dalle imprese del posto. L'unica eccezione è il ponte sul Felizon, ancora oggi presente come allora.

Attualmente il tracciato della ferrovia fra Dobbiaco e Cortina viene mantenuto in efficienza come percorso di sci da fondo in inverno e pista ciclabile in estate.

3.5.1.2 Caratteristiche

La linea ferroviaria delle Dolomiti ebbe le seguenti caratteristiche:

- scartamento ridotto di 950 mm, mentre la Feldbahn originaria fu costruita con un scartamento ancora più ridotto, da 750 mm,
- lunghezza di 65 km,
- dislivello totale della linea 810 m,
- pendenza massima del 35 %, le altre pendenze utilizzate nella linea sono riportate nella figura 40
- raggio minimo 60 m,
- elettrificazione 3000 Volt
- 10 gallerie per una lunghezza complessiva di 1168 m e numerosi ponti.

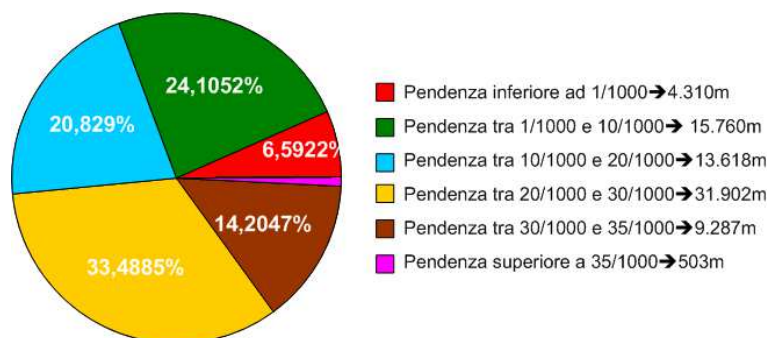


Figura 40: Dettaglio della divisione per pendenza della Ferrovia delle Dolomiti.

3.5.1.3 Materiale rotabile

I treni, che nei primi anni erano a trazione a vapore, vennero sostituiti nel 1929 da treni elettrici per rendere più economico l'esercizio della linea (le Dolomiti e l'Ampezzo sono zone ricche di centrali idroelettriche).

Per l'esercizio a trazione elettrica dal 1929 furono consegnati dalle Officine Meccaniche della Stanga 2 locomotori a carrelli e 6 elettromotrici a carrelli (questi con parte elettrica della TIBB), 5 carrozze passeggeri di I/III classe, 1 carrozza a 2 assi di I classe, 4 carrozze a 2 assi di III classe, 3 carrozze a 2 assi miste bagagliaio/postale/III classe ed 1 carrozza a 2 assi mista bagagliaio/postale.

Su alcuni tratti della linea, prevalentemente quelli impiegati per il trasporto di merci, la linea aveva la sagoma limite compatibile con treni a scartamento diverso da 950 mm. In questo modo anche carri di

diversa dimensione potevano circolare e la Società Ferroviaria Dolomiti avrebbe avuto maggior facilità a trovare mezzi atti a percorrere la linea previo cambio dello scartamento.

3.5.1.4 Percorso



Figura 41: Stazioni e fermate

La ferrovia delle Dolomiti partiva dalla città di Calalzo, dove arrivava la linea ferroviaria nazionale Belluno - Calalzo a quota 741 m s.l.m. e, passando per Cortina d'Ampezzo (1230 m s.l.m.), raggiungeva Dobbiaco a 1215 m s.l.m.

La massima altitudine raggiunta lungo il tragitto erano i 1530 m s.l.m. della stazione di Cimabanche.

3.5.1.5 Traffico

All'inizio, quando la linea era a vapore, c'era solamente un treno al giorno che percorreva l'intera linea in entrambe le direzioni e due (o tre, a seconda dei casi) che trasportavano i passeggeri da Cortina d'Ampezzo a Calalzo di Cadore e viceversa.

Successivamente, quando la linea venne elettrificata, il numero di treni che percorrevano la linea venne aumentato facendo circolare anche dei convogli che fermavano solo nelle stazioni principali (Cortina, San Vito, Borca, Calalzo).

Quando la linea era a vapore il treno impiegava dalle 2 ore e mezza alle 2 ore e 45 minuti per portare i passeggeri da Calalzo a Cortina; impiegava 4 ore e 45 minuti (compresa una sosta di un quarto d'ora a Cortina) per andare da Dobbiaco a Calalzo.

Con il passaggio alla trazione elettrica nel 1929 i tempi di percorrenza si ridussero da 1 ora-1 ora e 30 minuti per il tratto Calalzo Cortina e 55 minuti-1 ora per il tratto Cortina Dobbiaco.

CAPITOLO 4 : Dati di progetto

Una linea ferroviaria in senso fisico è l'insieme delle infrastrutture e delle costruzioni civili e tecnologiche necessarie a far viaggiare un treno tra due località di servizio in un determinato momento o periodo di tempo; la linea ferroviaria si svolge propriamente sulla sede ferroviaria. In quest'ultima vengono poi riconosciuti il corpo ferroviario e la sovrastruttura ferroviaria.

Con corpo ferroviario s'intende l'insieme delle opere civili che predispongono la sede ferroviaria vera e propria, e realizzano le opere d'arte nonché le opere di difesa, di protezione, quelle di confine e di integrazione tra l'ambiente esterno e la stessa circolazione ferroviaria.

Con il termine sede ferroviaria può identificarsi, più in particolare, la parte del corpo stradale, coincidente con lo strato superiore del rilevato, o di altra opera d'arte, avente la funzione di sostenere direttamente, sul piano di piattaforma, i carichi della circolazione trasmessi dalla sovrastruttura ferroviaria. Quest'ultima è costituita dalla massicciata e dall'armamento.

La sede stradale si completa di norma con opere complementari, quali sentieri pedonali o altre vie di accesso o di servizio al binario.

4.1 Tracciato ferroviario

Si definisce tracciato la proiezione dell'asse del binario sul piano orizzontale.

Si possono avere due tipologie di linee:

- linee a doppio binario in cui il traffico nei due sensi è completamente separato
- linee a semplice binario in cui gli incroci e i sottopassi avvengono nelle stazioni, secondo un ordine ben stabilito.

Quest'ultimo tipo di linea sarà quello ipotizzato per il tracciato in esame.

Gli elementi fondamentali che caratterizzano un tracciato ferroviario sono essenzialmente il raggio minimo delle sue curve e la pendenza massima dei suoi segmenti o tratti componenti. Questi elementi vengono fissati in funzione della velocità massima con la quale si desidera venga svolto il traffico previsto e delle caratteristiche del traffico stesso, essenzialmente nei riguardi del numero, del tipo e del peso dei singoli treni.

Una volta definiti:

- i centri urbani da servire, che in questo caso studio coincidono con degli abitati di Calalzo, Domegge, Lozzo, Cima Gogna ed Auronzo,
- il raggio minimo di curvatura, posto pari a 300 m,
- e la pendenza massima, stabilita non superiore al 18 ‰,

si ricerca su di una carta, rappresentativa del territorio, quale sia il miglior tracciato che colleghi i punti desiderati e mantenga curve e pendenze ai valori stabiliti, adattandosi al terreno o adattando quest'ultimo tramite scavi, riporti e costruzioni di opere d'arte.

A questa prima scelta devono fare seguito accurate visite sul posto che permettano di evitare di attraversare terreni insicuri. Particolarmente importante è l'esame dei terreni che verranno attraversati con gallerie o che saranno utilizzati per la fondazione di altre importanti opere d'arte.

4.1.1 Andamento planimetrico

Una linea ferroviaria è costituita da una sequenza di rettili e di curve con i corrispondenti raccordi di transizione.

Le curve generano una forza centrifuga che tende a:

- ribaltare il veicolo,
- sollecitare la rotaia esterna del binario
- ridurre il confort dei viaggiatori.

A tali inconvenienti si pone rimedio compensando, almeno in parte, la forza centrifuga con una componente della forza peso ottenuta inclinando il piano del ferro, sul quale circolano i rotabili, ovvero sopraelevando la rotaia esterna alla curva.

La sopraelevazione, quindi, è funzione della velocità massima di progetto del tracciato, del raggio delle curve e dell'accelerazione centrifuga ammessa.

La sopraelevazione consentita è pari a 16 cm per velocità inferiori a 160 km/h. Per velocità uguali o superiori a tale valore o per linee a traffico misto essa, al fine di limitare la sollecitazione della rotaia interna, è limitata dall'accelerazione centripeta residua ammessa, corrispondente alla minima velocità normale di circolazione (80 km/h).

Per raggi di curvatura superiori a quelli corrispondenti alla massima sopraelevazione, l'accelerazione non compensata si riduce in proporzione alla sopraelevazione.

Il tracciato della linea ferroviaria presa in esame, che si sviluppa per circa 18 km, presenta 26 rettifili raccordati da 25 curve circolari e relative clotoidi in entrata e in uscita.

I dati relativi ai raggi utilizzati nelle curve, alle sopraelevazioni e le lunghezze dei rettifili sono riportate nella tabella 1:

n°rettifilo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
lunghezza [m]	296	516	62	39	1281	537	359	69	360	66	492	109	135

n°rettifilo	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
lunghezza [m]	482	173	32	340	121	57	140	82	465	323	168	111	1015

nome curva	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
raggio [m]	469	335	335	469	3.290	3.215	469	469	469	469	469	469	5.500
sopraelevazione [mm]	160	140	140	160	125	130	160	160	150	160	160	160	50

nome curva	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
raggio [m]	1.250	469	1.025	300	300	300	469	469	469	469	469	469
sopraelevazione [mm]	140	160	160	60	60	60	160	160	160	160	160	160

Tabella 1: Lunghezze rettifili, raggi curve e sopraelevazioni

La relazione che lega la velocità massima ammissibile al raggio di curvatura del binario risulta essere:

$$V_{max} = C\sqrt{R}$$

con:

R espresso in metri,

V_{max} in km/h,

C costante di esercizio, dipende dal tipo di treni.

L'importanza delle curve in una linea ferroviaria, ha portato alla determinazione del grado di tortuosità ottenuto come percentuale, rispetto alla lunghezza reale totale, della somma delle lunghezze delle tratte aventi raggio uguale o minore ad un valore stabilito. Il grado di tortuosità veniva quindi dato da:

$$t = \frac{l_c}{l_r} 100$$

con:

l_c distanza delle tratte,

l_r distanza reale totale.

Questa misura è stata abbandonata e ora si utilizza l'indice di allungamento della linea ossia il rapporto:

$$t = \frac{l_r - l_c}{l_0} 100$$

con:

l_r distanza reale tra i due punti estremi della linea,

l_0 distanza, tra gli stessi estremi, misurata in linea d'aria.

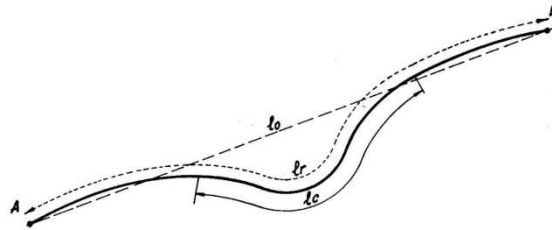


Figura 42: Gradi di tortuosità di una linea

4.1.2 Andamento altimetrico

L'andamento altimetrico è lo sviluppo in direzione verticale che può essere orizzontale o in pendenza. Esso viene indicato graficamente da segmenti di retta in orizzontale o inclinati a seconda della pendenza. Si definisce pendenza di una via ferroviaria la caratteristica puntuale della tangente trigonometrica dell'angolo esistente, nel piano verticale, tra l'asse della strada e il piano orizzontale.

Nel campo ferroviario la pendenza viene indicata in millesimi e cioè in per mille.

Si definisce poi livelletta un tratto a pendenza costante. In ciascuna livelletta quindi la pendenza è data dal numero di metri di cui la strada ferrata sale per ogni chilometro di distanza in proiezione orizzontale. La pendenza massima teorica per una linea ferroviaria potrebbe essere quella sulla quale è ancora possibile, come limite, mantenere ferma una locomotiva frenata; tale pendenza è del 140 ‰. Si tratta però di un limite che non è assolutamente ammissibile in pratica, e ciò sia perché il coefficiente di attrito, su cui esso si fonda, potrebbe essere compromesso da cause accidentali, sia perché con una tale pendenza non risulterebbe possibile alle locomotive rimorchiare dei veicoli.

I valori pratici assunti per la pendenza massima sono quindi in genere anche molto inferiori alla metà del valore massimo teorico sopraindicato. Infatti, in una ferrovia ordinaria, e cioè ad aderenza naturale, non si dovrebbe mai superare una pendenza del 35‰ ed è questo il valore che si riscontra nella rete FS.

Per contenere la pendenza massima esistono 2 metodi:

- 1) si aumenta il percorso affrontando i dislivelli con un andamento sinuoso della linea;
- 2) si superano dei valichi mediante la perforazione di gallerie. Questo è il metodo che si adotta in quasi tutti i valichi alpini ed è quello che è stato adottato in questo studio di prefattibilità anche se è il metodo più costoso ma non introduce riduzioni di velocità.

Al tracciato in esame sono stati assegnati valori diversi di pendenza ma sempre inferiori al valore massimo stabilito pari al 18‰; inoltre il cambio di livelletta non è mai stato effettuato in curva. Nella tabella 2 sono riportate le pendenze utilizzate e le lunghezze che esse ricoprono:

Pendenza [‰]	0	3	5,5	0,5	6	13	10,5
Lunghezza [km]	0,1	1,7	2,85	2,16	1,95	6,24	2,6

Tabella 2: Lunghezza pendenze

Nel piano verticale, oltre che per raggiungere la sopraelevazione, si incontrano dei raccordi anche quando si ha un cambiamento di livelletta; questo raccordo avviene su ambedue le rotaie. Se ci si limitasse ad accostare una livelletta all'altra, senza alcun raccordo intermedio, si creerebbe un angolo, nel piano verticale, in corrispondenza del quale si avrebbero urti e sobbalzi dato che in esso si aggiungerebbe, o toglierebbe, di colpo un'accelerazione verticale all'accelerazione di gravità.

Viene pertanto inserito tra una livelletta e l'altra, nel piano verticale, un raccordo circolare. Il valore del raggio può essere calcolato con la formula: $\alpha = \frac{v^2}{127 R}$

dove α rappresenta la percentuale di accelerazione di gravità che si vuol tollerare in aggiunta (variazione livelletta "verso l'alto") o in detrazione ("verso il basso").

4.1.3 Curve di transizione e raccordi di sopraelevazione

Il raccordo planimetrico si introduce nella transizione rettilineo-cerchio e tra due curve circolari per ovviare ad alcuni inconvenienti:

- l'insorgere di moti anomali per l'applicazione/cessazione istantanea della forza centrifuga;
- l'accostamento del veicolo alla rotaia interna nel rettilineo e il successivo brusco spostamento su quella esterna della curva.

I raccordi hanno quindi lo scopo di definire una variazione graduale di: curvatura, accelerazione trasversale e sopraelevazione bilanciando istante per istante la componente della forza centrifuga sul piano del ferro con la componente del peso sullo stesso piano.

Il raccordo planimetrico deve:

- iniziare nello stesso punto del raccordo di sopraelevazione,
- avere la stessa lunghezza,
- produrre un andamento lineare dell'accelerazione centrifuga.

La curva che soddisfa questa condizione è l'arco di radioide.

Le curve di transizione s'inseriscono tra rettilineo e curva circolare di raggio R e nel passaggio tra due curve circolari, di raggio diverso. La curva di transizione è quindi una parabola cubica la cui equazione è:

$$y = \frac{x^3}{6\mu}$$

Il raccordo di sopraelevazione viene realizzato variando linearmente la quota della rotaia esterna ed introducendo eventualmente un arrotondamento all'inizio e alla fine dello stesso. Nonostante la semplicità costruttiva e manutentiva del raccordo lineare, è auspicabile l'utilizzo di raccordi di sopraelevazione con andamento biquadratico o sinusoidale che, seppur a fronte di un aumento della pendenza massima a parità di lunghezza di raccordo, evitano bruschi cambiamenti del contraccolpo e della velocità di rollio all'inizio e alla fine del raccordo stesso.

Lungo il raccordo di sopraelevazione la pendenza, il contraccolpo, la velocità di rollio e la velocità di sollevamento rimangono costanti.

4.2 Caratteristiche tecniche

La nuova linea ferroviaria s'inserisce, nel quadro della rete delle Ferrovie dello Stato, in quelle di TIPO B cioè le cosiddette linee secondarie. Le linee principali delle FS sono invece contraddistinte dal TIPO A che portano a considerare maggiori carichi da applicare sul complesso rotaia, traverse e massicciata, ossia la sovrastruttura ferroviaria.

4.2.1 Armamento

Si definisce armamento di una linea ferroviaria l'insieme costituito dalle rotaie e dalle traverse, dai giunti e dal materiale di attacco ai sostegni o di collegamento.

4.2.1.1 Le rotaie

La rotaia è un profilato in acciaio di sezione opportunamente sagomata, che ha la funzione di sostegno e di guida delle ruote dei veicoli ferroviari.

Essa viene calcolata in modo tale che possa resistere agli sforzi verticali statici e dinamici, come una trave continua appoggiata.

È caratterizzata da:

- una parte superiore, detta fungo, sulla quale direttamente insistono le ruote di veicoli, che ha la funzione di guida dei bordini;
- una parte inferiore, detta suola, che si appoggia sulle traverse; essa ha larghezza e forma tali da garantire appoggio e ancoraggio alle traverse medesime;
- una parte centrale, detta gambo, sede delle forature, praticate all'estremità di ogni rotaia in corrispondenza delle testate, per la giunzione di due rotaie consecutive;
- la parte superiore del fungo, che prende il nome di piano di rotolamento;
- i raccordi tra fungo e gambo e suola, che contengono dei tratti piani, opportunamente inclinati, i quali servono da incontro delle ganasce superiore e inferiore alle ganasce di giunzione delle rotaie consecutive, dette steccature.



Figura 18: Parti componenti

La classificazione delle rotaie viene fatta in base al loro peso per metro lineare, pari a 46 kg, 50 kg e 60 kg. In genere si definiscono leggeri gli armamenti con rotaie fino a 46 kg/m e pesanti quelli con rotaie che superino tale peso.

Per la ferrovia in esame, essendo classificata dalle Ferrovie dello Stato come linea locale, si devono utilizzare rotaie di tipo U.I.C 60,700 con lunghezza pari a 36 m; in curve isolate con raggio minore di 600 m si devono invece utilizzare rotaie U.I.C 60,900 A. La qualità dell'acciaio costituente la rotaia è codificata dalla Fiche UIC 860-0 che definisce i metodi di fabbricazione e le modalità di controllo della qualità.

Nella tabella 3 vengono riportate le dimensioni fondamentali della rotaia:

Tipo	kg/m	A mm	B mm	C mm	D mm	a mm	S mm	F mm ²
50 UNI	49,86	70	38,80	135	148	10	14	6350
60 UNI	60,36	74,30	37,50	150	172	11,50	16,50	7686

Tabella 3: Dimensioni fondamentali rotai

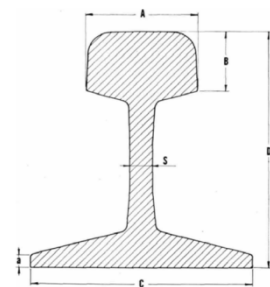


Figura 19: Dimensioni

La distanza intercorrente tra i bordi interni dei funghi di due rotaie del binario, misurata a 14 mm al di sotto del piano di rotolamento è detta scartamento.

Gli scartamenti più usati sono sostanzialmente due:

- quello, detto normale, di 1435 mm; è stato scelto per il tracciato ferroviario ipotizzato;
- quello, detto ridotto, di 950 mm.

4.2.1.2 Le traverse

Le traverse collegano fra loro le rotaie, assicurando lo scartamento, e distribuiscono uniformemente sulla massicciata lo sforzo ad esse trasmesso.

Con le rotaie lunghe saldate le traverse hanno anche lo scopo di bloccare gli scorrimenti dovuti alle dilatazioni termiche ed agli sforzi unidirezionali di avviamento e frenatura.

Nella traversa si distinguono:

- superiormente i due piani di ferratura per l'ancoraggio della rotaia;
- inferiormente il piano di posa, le superfici laterali e le testate verticali.

I due piani di ferratura sono lunghi 50 cm e distano tra di loro un metro. In corrispondenza dei piani di ferratura viene fatta la spianatura: si costruisce cioè la base di appoggio per l'attacco della rotaia e la foratura per gli arpioni o caviglie.

Le traverse possono essere in legno o in c.a.p; le Ferrovie dello Stato stabiliscono di utilizzare per le linee di tipo D le traverse FSV35P cioè in c.a.p con modulo di 66,6 cm.

Queste traverse, di peso pari a 250 kg, sono lunghe 2,3 m ed hanno sezione trapezia variabile in altezza, con dimensioni massime alle testate (base maggiore 0,30 m ed altezza 0,19 m) e dimensioni ridotte al centro.

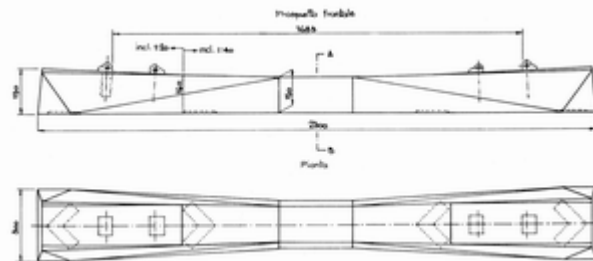


Figura 205: Traversa in c.a.p

4.2.1.3 Gli attacchi

Le rotaie sono fissate tramite delle piastre metalliche bullonate tramite giunti alla traversa. Gli attacchi vengono disposti ad interasse costante detto modulo o passo. Il modulo utilizzato normalmente per i binari di corsa è 10/6 cioè 10 traverse ogni 6 metri.

Gli attacchi possono essere di tipo diretto o indiretto. Il primo tipo, dotato di piastra d'interposizione fra rotaia e traversa, ancora la rotaia con chiodi, detti arpioni, o con caviglie direttamente alle traverse; il secondo prevede invece la piastra fissata alla traversa con caviglie e la rotaia fissata a sua volta alla piastra con bulloni, detti chiavarde, di ancoraggio e apposite piastrine.

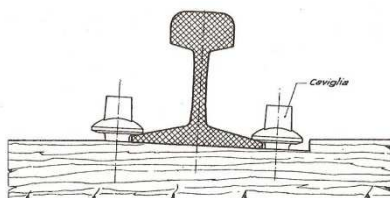


Figura 216: Posa diretta con attacco diretto

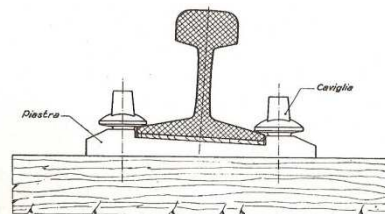


Figura 227: Posa indiretta con attacco diretto

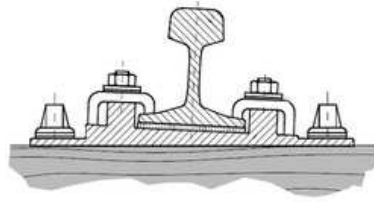


Figura 23: Attacco indiretto

Gli attacchi fra traverse e rotaie ipotizzati sono del tipo a posa indiretta con attacco diretto; in questo modo è consentita la libera dilatazione delle rotaie al variare della temperatura, senza generare sforzi sulle sottostanti traverse.

4.2.1.4 Le giunzioni

Per ottenere un collegamento ottimale tra le testate di due rotaie contigue e per permettere la dilatazione termica, a causa delle escursioni di temperatura, sono stati adottati dei dispositivi chiamati giunzioni. Le tipologie di giunti adottate variano tra giunti sospesi e appoggiati, affacciati e sfalsati.

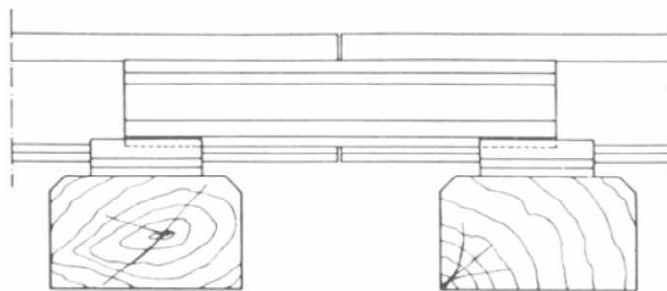


Figura 49: Esempio di giunto sospeso

La figura 49 rappresenta un esempio di giunto sospeso posizionato tra due traverse, del tipo utilizzato sulla ferrovia oggetto di studio; il giunto appoggiato, invece, presenta la caratteristica di essere posto sopra due traverse accostate.

Se i giunti di collegamento si trovano alla stessa altezza nelle due rotaie, costituendo i cosiddetti giunti affacciati e in questo modo non si ottiene un elevato standard di comfort nella marcia in quanto le due giunzioni subiscono contemporaneamente l'urto dovuto al passaggio dei carrelli.

Nella linea ferroviaria in esame quindi si è deciso di adottare i giunti sfalsati per migliorare il comfort di marcia e diminuire le sollecitazioni sugli elementi.

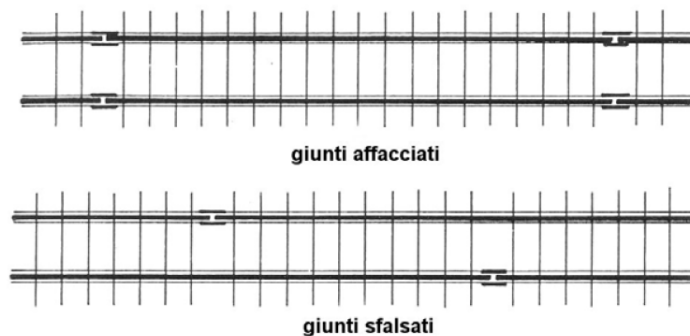


Figura 240: Schema dei giunti di collegamento tra le rotaie

4.3. Massicciata

La massicciata assolve la funzione di:

- distribuire i carichi verticali sul piano di rotolamento;
- definire la geometria per il piano di posa del binario in fase di costruzione, e prostrarla durante l'esercizio per evitare lo svio;
- permettere la correzione dei difetti provocati dai carichi dinamici e/o dalle modificazioni, col tempo, del corpo ferroviario.

Le sollecitazioni che si determinano per effetto del traffico possono essere distinte in:

- Sforzi verticali dovuti a:
 - peso proprio,
 - peso degli assi dei veicoli,
 - movimenti di rollio,
 - martellamento causato dalle giunzioni del binario,
 - dilatazione termica delle rotaie per effetto del traffico.
- Sforzi longitudinali dovuti a:
 - accelerazioni e frenatura dei treni,
 - dilatazione termica delle rotaie,
- Sforzi trasversali dovuti a:
 - moti di serpeggio,
 - forza centrifuga, non compensata,
 - componente radiale degli sforzi longitudinali.

Il complesso dell'armamento da solo non resisterebbe a tali carichi senza deformarsi e spostarsi; è per questo motivo che le traverse risultano incastrate nel pietrisco della massicciata.

L'attrito e il contrasto laterali sono tali che il piano superiore delle traverse si pone allo stesso livello di quello della massicciata.

È importante la forma degli elementi lapidei componenti la massicciata (rocce basaltiche, porfidiche o granitiche) i quali devono essere a spigoli vivi, per ottenere il massimo attrito, e di pezzatura il più possibile uniforme (spessore 25 cm) in modo da costituire un appoggio resistente ed elastico, che assicuri la vita della sovrastruttura per un tempo non inferiore a 20-30 anni. La distanza consigliata tra il ciglio e la rotaia è di 115 cm, mentre il valore minimo è 110 cm.

In rettifilo la sezione della massicciata ha la forma di un trapezio isoscele con i lati inclinati di circa 3/4.

Nella sezione complessiva si distinguono le seguenti parti:

- Cassonetto
- Unghia
- Cigli
- Piede dell'unghia e fascia pedonale.

L'altezza della sezione dipende dallo spessore della massicciata. Nell'andamento altimetrico del binario non vi sono spessori differenziati di massicciata. Per quest'ultima lo spessore si stabilisce in funzione del peso assiale e della velocità dei treni che transiteranno sulla linea. L'appoggio della massicciata avviene su di un piano di regolamento, che segue l'andamento planimetrico del tracciato, e si trova sempre, indipendentemente dal piano campagna, alla quota corrispondente all'andamento altimetrico studiato.

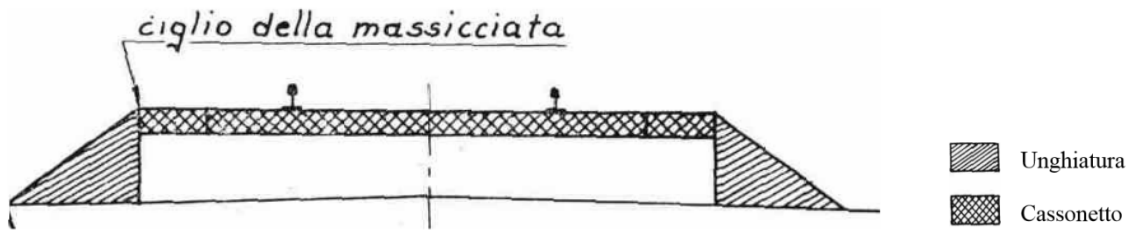


Figura 25: Sezione della massicciata per linea a semplice binario

4.4 Gli scambi

In un servizio ferroviario è indispensabile disporre di un'apparecchiatura capace di instradare un convoglio da un binario ad un altro. Una tale apparecchiatura è chiamata scambio o deviatoio e s'impiega:

- nelle stazioni, in generale, dove si può ricevere un treno su uno qualsiasi dei binari del fascio e da esso farlo ripartire;
- nel punto d'incrocio o di precedenza fra i binari, per dirigere un convoglio su di un tratto secondario di essi, lasciando libero quello principale per un altro treno che abbia la precedenza;
- nelle stazioni di diramazione o bivi;
- nei fasci di riordino, per modificare la composizione di un convoglio;
- in quelli di smistamento e di ricomposizione, per suddividere i treni in sezioni destinate ad altri convogli o viceversa;
- nei piazzali secondari di stazione, in quelli dei depositi di locomotive ecc.

Questi dispositivi devono assumere sostanzialmente due posizioni: in una il veicolo prosegue sul binario nella stessa direzione; nell'altra viene instradato sulla deviazione.

Uno scambio si dice preso "di punta" quando viene impegnato da un veicolo con un movimento diretto dalla punta al tallone degli aghi. Si dice invece che viene preso "di calcio" quando il moto del veicolo è nel senso opposto.

Lo scambio semplice è la forma elementare di tale apparecchio: dalla combinazione di più deviatoi semplici risultano i deviatoi doppi e le comunicazioni tra binari contigui paralleli.

Nel deviatoio semplice si distinguono due parti principali: il cambiamento e l'incrociamento.

Il cambiamento o telaio degli aghi è la parte dell'apparecchiatura destinata a far cambiare direzione al materiale mobile. Costituisce la parte mobile ed è in grado di assumere due diverse posizioni per garantire la continuità del binario di entrata, rispettivamente, con l'uno o con l'altro binario di uscita. L'incrociamento o cuore è la parte fissa in cui è permessa la marcia dei veicoli, sull'una o sull'altra uscita, malgrado l'incrocio che necessariamente si deve verificare tra la rotaia sinistra dell'uscita destra e la rotaia destra dell'uscita sinistra.

Le due parti principali sono tra di loro collegate da quattro brevi rotaie che prendono il nome di rotaie intermedie. Si ottiene così un deviatoio, o scambio, con un ramo di uscita rettilineo, che viene detto corretto tracciato, ed uno curvo, detto deviato.

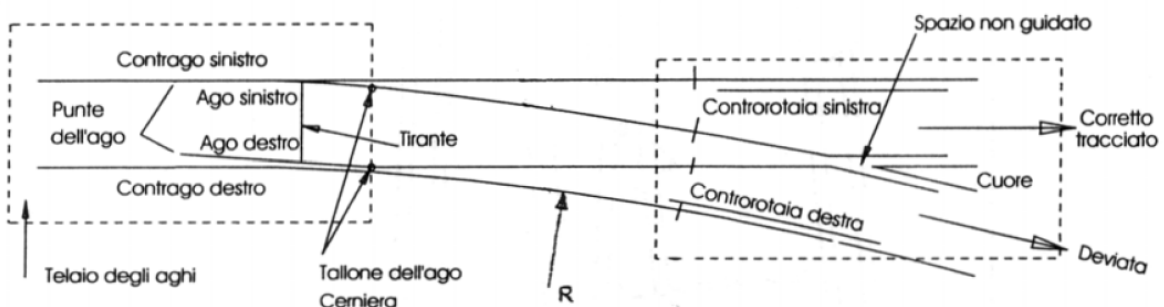


Figura 26: Nomenclatura di un deviatoio

Trattandosi di una linea a singolo binario gli scambi saranno previsti solamente nelle stazioni con raddoppio di binario, per permettere l'incrocio di treni provenienti da direzioni opposte, che corrispondono a: Calalzo, Lozzo, Auronzo Centro e Auronzo impianti.

4.5 Corpo ferroviario

Il corpo ferroviario è composto:

- dalla sede ferroviaria vera e propria, realizzata su rilevati o su altre opere d'arte, la cui parte superiore è denominata piattaforma stradale, e comprendente anche opere complementari quali banchine, stradelli e vie di accesso ai binari;
- dalle opere d'arte, quali rilevati, viadotti, ponti, gallerie, nonché muri di trincee, che quindi realizzano il tracciato plano-altimetrico della linea ferroviaria, assicurandone la dovuta funzionalità e l'integrazione con il territorio. Si comprendono anche le maggiori opere di difesa, quali muri di sostegno, muri di sottoscarpa o di ripa, muri di scarpa o di controripa;
- dalle opere d'arte minori e di protezione, quali ponticelli, cunette di piattaforma e fossi di guardia, nonché difese da frane, smottamenti e mareggiate.

4.5.1 Il rilevato

L'operazione di sistemazione del piano di posa per la costruzione del rilevato consiste nella preliminare eliminazione dello strato di terreno vegetale, per uno spessore di almeno 20 cm, e di eventuali ostacoli naturali o artificiali nonché nella estirpazione delle radici profonde.

Si procede quindi, in genere, all'analisi del terreno di cui vengono determinate le caratteristiche geotecniche e l'umidità, accertando anche il massimo livello raggiunto dalle acque sotterranee ecc.

Nel caso si riscontri una scarsa densità si procede ad operazioni di addensamento. Nel caso in cui si debbano temere rifluimenti laterali sotto il carico del rilevato, occorre contrastarli mediante la formazione di banchine.

Il rilevato è un manufatto che, appoggiato sul piano di posa, realizza con la sua superficie superiore la piattaforma sulla quale vengono posate la massicciata ed il binario.

Il piano di regolamento per evitare ristagni d'acqua deve avere una pendenza del 3,5 %, nel senso trasversale.

Le dimensioni della piattaforma sono legate, oltre che al numero dei binari e al loro interasse, allo scartamento, allo spessore della massicciata ed alla sopraelevazione in curva, ad elementi cioè che vincolano il binario alle caratteristiche connesse all'importanza della linea.

L'altezza di un rilevato può variare considerevolmente. La sua larghezza al livello del piano di posa, ossia quella della sede ferroviaria, dipende oltre che dalla larghezza della piattaforma anche dall'altezza del rilevato stesso. L'inclinazione assegnata alle scarpate è funzione dell'angolo di attrito delle terre di cui il rilevato è costituito (generalmente 2/3).

Le terre devono essere stese a strati successivi, devono avere spessore adeguato ai mezzi di addensamento di cui si dispone e comunque non superiore ai 50 cm. Ad ogni stendimento corrisponderà il costipamento dello strato con il controllo della densità.

Particolare importanza assumono gli ultimi due strati, per i quali si dovrà raggiungere, anche con opportuno dosaggio delle frazioni fini delle terre, un addensamento pari a quello delle costruzioni stradali.

Ciò provvede a distribuire meglio le sollecitazioni statiche e dinamiche agli strati più profondi del rilevato; concorre alla impermeabilizzazione, determina resistenza ai cicli di gelo e disgelo; rende costante l'attrito tra massicciata e piattaforma su tutta la linea, indipendentemente dalle azioni delle acque meteoriche.

Le scarpate del rilevato vanno protette mediante inerbimento.

Per le acque meteoriche, che non devono ristagnare nella massicciata, si costruisce una cunetta che corre lungo la linea mantenendo il suo bordo superiore al livello della piattaforma.

In caso di pendenza longitudinale notevole, che potrebbe dar luogo a erosioni per l'eccessiva velocità delle acque, o di pendenza troppo bassa, che può far temere ristagni, la cunetta va rivestita.

Essa può anche essere coperta, per realizzare una banchina pedonale. Una cunetta di dimensioni maggiori di quelle normalmente usate per la piattaforma viene detta fosso di guardia. Si costruisce ad una certa distanza dal piede del rilevato. L'acqua convogliata dalle cunette e dai fossi di guardia sottopassa la linea ferroviaria in corrispondenza di tombini.

4.5.2 La trincea

Una trincea viene scavata quando occorre realizzare la piattaforma ferroviaria al di sotto del piano campagna.

Le scarpate hanno un'inclinazione che è funzione della natura del terreno. Si possono avere scarpate completamente verticali quando la trincea sia scavata in roccia compatta ovvero scarpate con pendenza di $2/3$ quando ci si trovi in presenza di terreni mediamente consistenti. Anche le scarpate delle trincee vanno consolidate a mezzo di vegetazioni.

Per ridurre le dimensioni trasversali di una trincea si può ricorrere alla costruzione di scarpate poco inclinate, sostenendo il terreno con muri di scarpa o di controripa.

Per impedire che la trincea finisca con assumere la funzione d'incanalamento delle acque superficiali dei terreni si costruisce, a circa un metro e mezzo dal ciglio a monte, un fosso di guardia. Per il deflusso delle acque che s'incanalano in trincea, la linea viene affiancata da una parte e dall'altra da cunette.

4.5.3 Opere d'arte minori

Tra le opere d'arte minori sono compresi i piccoli ponti e i muri di sostegno.

I muri di sostegno vengono costruiti in muratura o in conglomerato cementizio semplice od armato.

A seconda dello scopo per cui vengono costruiti si distinguono:

- muri di sostegno propriamente detti, per il contenimento del rilevato, portati sino al livello della piattaforma ferroviaria;

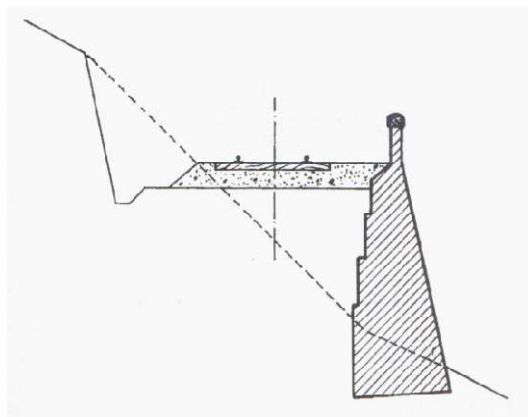


Figura 53: Muro di sostegno

- muri di sottoscarpa o di ripa quando, pur sostenendo il rilevato, sono limitati ad una quota inferiore a quella della piattaforma;

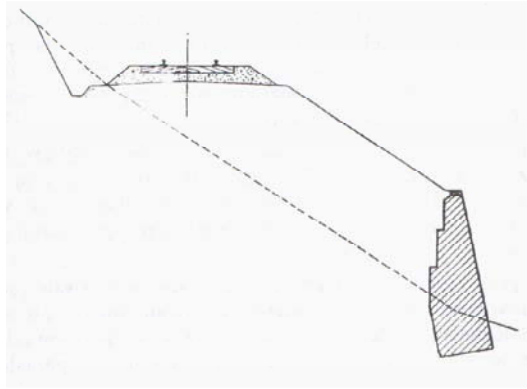


Figura 54: Muro di sottoscarpa o ripa

- muri di scarpa o di controripa quando, in linee a mezza costa od in trincea, sostengono i terreni posti a livello più alto della piattaforma ferroviaria.

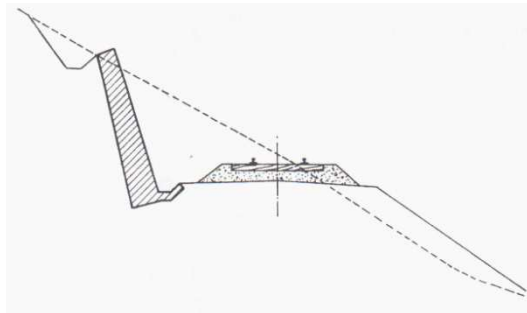


Figura 27: Muro di scarpa di controripa

4.5.4 Ponti

In ogni ponte si distinguono due parti fondamentali:

- 1) sottostruttura
- 2) sovrastruttura

La sovrastruttura è costituita dai sostegni verticali e dalle loro fondazioni, dai sostegni intermedi (pile) e da quelli terminali (spalle).

La sovrastruttura è la parte che si appoggia sulle pile, a volte innestrandosi su di esse e collegandone quindi le estremità superiori.

La luce del ponte è la distanza misurata fra le facce dei piedritti contigui e quindi se il ponte ha più piedritti si parla di ponte a più luci.

Normalmente si cerca di costruire un ponte in modo che l'attraversamento, tra corso d'acqua, strada o ferrovia, risulti effettuato con un angolo di 90° ma spesso il tracciato ferroviario non lo consente e si deve ricorrere alla costruzione di un ponte obliquo.

Di un ponte obliquo si devono prendere in esame due distinte luci: agli effetti del regime idraulico del corso d'acqua o della potenzialità della strada attraversati, interessa la luce libera misurata perpendicolarmente alle facce dei piedritti, e cioè quella che viene detta luce retta, mentre agli effetti dei calcoli del ponte interessa la luce obliqua e cioè la lunghezza della struttura portante.

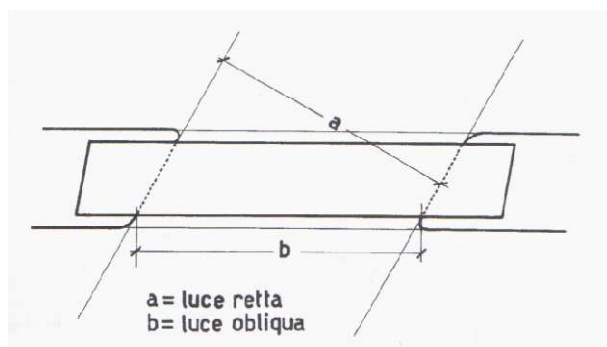


Figura 56: Ponte obliquo

Esistono anche ponti, e in particolare viadotti, con tracciato in curva.

La scelta della struttura secondo cui costruire un ponte è direttamente collegata con la situazione di attraversamento da risolvere.

Appare evidente come per l'attraversamento di una vallata in cui scorra un fiume possa convenire ricorrere ad un ponte a più luci se è facile realizzare molti piedritti intermedi, qualcuno dei quali magari in alveo, mentre sia conveniente ricorrere ad una struttura ad arco, magari realizzando una luce unica, se si tratta di attraversare una valle stretta e profonda o se il regime delle acque è, anche per la loro profondità, tale da sconsigliare la costruzione di pile in alveo.

Si sintetizzano i criteri seguiti dalle ferrovie italiane per le opere d'arte in c.a.p e per le strutture miste. Si realizzano, in genere, con travi rettilinee, solidali o appoggiate ai piedritti che costituiscono, nei ponti a più luci, anche un sistema a trave continua. Per luci che non superino i quattro metri si adopera il sistema più semplice, rappresentato da un solettone in c.a a sezione rettangolare piena. Per luci maggiori, per ragioni di leggerezza e di economia si usano tipi con travi a soletta collaborante.

Le nervature variano da quattro in un ponte a semplice binario a sei in uno a doppio. Le travi hanno tra di loro collegamenti in testa e intermedi con traversi di ripartizione o di campata, in genere della stessa altezza. Quando per lieve differenza tra la quota della livelletta ferroviaria e quella della strada o del fosso sottostanti risulti necessario realizzare una struttura portante di spessore ridotto, si adotta un viadotto con struttura mista acciaio-calcestruzzo. Qualora si susseguano più campate può essere realizzata una struttura continua. La separazione delle singole campate faciliterà sia la manutenzione sia l'eventuale sostituzione di travi, sia ancora la revisione dei dispositivi di appoggio, ecc.

4.5.5 Gallerie

A seconda del sistema usato per la loro costruzione le gallerie si distinguono in:

- 1) gallerie naturali o a foro cieco
- 2) gallerie artificiali

La costruzione a cielo aperto o artificiale risulta conveniente solo per le gallerie poco profonde.

Una galleria in fase di scavo, prescindendo dal rivestimento, si suddivide in:

- calotta: parte superiore
- strozzo: parte rimanente della sezione
- piedritti

A rivestimento ultimato nella galleria s'identificano:

- i piedritti: costituenti il rivestimento laterale sul quale si imposta la volta (calotta)
- la calotta
- l'arco rovescio, che può anche mancare quando non vi sia il pericolo di rifluimento
- la cunetta
- le banchine, le nicchie ed i nicchioni di ricovero, i cameroni per i bivi di innesto di linee in galleria.

4.5.5.1 la sagoma delle gallerie

Si stabiliscono per le gallerie una sagoma limite entro la quale deve rimanere contenuto ogni veicolo comprensivo dei carichi trasportati, ed opportuni franchi dagli ostacoli fissi esistenti lungo la linea.

Le sagome limiti delle diverse ferrovie non sono uguali e ciò spiega perchè anche le sagome delle gallerie risultino differenti. Da qualche tempo l'UIC ha definito una sagoma limite europea, il cosiddetto Gabarit C a cui si stanno adattando le gallerie di tutte le linee principali.

Per nuove costruzioni o allargamenti di vecchie gallerie, le ferrovie hanno definito sette sagome fondamentali, ognuna caratterizzata da due varianti relative alle linee principali e a quelle secondarie.

La suddivisione topologica è:

- sagome A o B, rispettivamente per semplice o doppio binario, si utilizzano quando il rivestimento ha solo funzione protettiva ovvero di sostegno per carichi verticali.
- sagome C od F, rispettivamente per semplice o doppio binario, presentano l'arco rovescio;
- sagome D e G, per semplice binario e doppio binario, sono a sezione circolare relative a linee secondarie con terreni spingenti.

4.6 Materiale rotabile

La scelta della tipologia di materiale rotabile appare importante sia per il raggiungimento di obiettivi di esercizio (tempi di percorrenza) che per la definizione dei parametri progettuali dell'infrastruttura.

I requisiti richiesti sono:

- tempi di viaggio: velocità massima ed elevate prestazioni in accelerazione e frenata;
- comfort di viaggio: rumore, vibrazioni, climatizzazione, informazione e intrattenimento passeggeri;
- accessibilità: accesso a raso; porte di ampie dimensioni per una agevole e rapida salita e discesa dei passeggeri, spazi multifunzionali per trasporto biciclette o sci;
- impatto ambientale

I requisiti sopra elencati vengono soddisfatti dalla maggior parte del materiale rotabile nuovo offerto oggi sul mercato ferroviario; in particolare gli autotreni ALn 501-Ln 220-ALn 502 Minuetto.



Figura 57: Minuetto

Si tratta di treni in composizione bloccata, ovvero che non possono essere separati se non in casi straordinari di manutenzione o guasto, composti da una testata motrice ALn 501 per la versione diesel, una carrozza centrale Ln 220 e una testata ALn 502, in allestimento a salone senza barriere tra le diverse semicasse; sono dotati di un accoppiatore frontale automatico in grado di unire tre treni in un singolo convoglio paragonabile ad un treno classico.

Nella tabella 4 vengono riportate le caratteristiche principali:

Dimensioni	51.900 x 2.950 x 3.820 mm
Capacità	24 posti di prima classe (sulla testata "501") e 122 di seconda, 23 strapuntini e un posto per disabili
Quota del piano di calpestio	600 mm
Interperno	14.800 - 13.800 - 14.800
Passo dei carrelli	2.800 mm
Massa vuota	100 t
Rodiggio	Bo-2-2-Bo (DMU3)
Potenza oraria	2 x 560 kW
Velocità massima omologata	130 km/h
Autonomia	1600 litri di carburante

Tabella 4: Caratteristiche principali Minuetto

4.6.1 Le classificazione delle linee ferroviarie

Le linee ferroviarie sono classificate in base a:

- massimo peso per asse;
- massimo carico per metro ammessi, cioè il rapporto fra il peso totale del veicolo carico e la sua lunghezza presa a filo dei respingenti).

La categoria di una linea determina le caratteristiche della sovrastruttura.

Per le linee ferroviarie ordinarie, in ambito europeo, la classificazione è quella riportata nella tabella 5:

CATEGORIA	PESO PER ASSE (t)	PESO PER UNITA' DI LUNGHEZZA (t/m)
A	16	4,8
B ₁	18	6,0
B ₂	18	6,4
C ₂	20	6,4
C ₃	20	7,2
C ₄	20	8,0
D ₄	22,5	8,0

Tabella 5: Classificazione europea delle ferrovie

Le linee ferroviarie vengono anche classificate in funzione dell'intensità di traffico misurata dal carico fittizio, espresso in tonnellate lorde giornaliere rimorchiate [tlr/g]:

$$T = T_v \left(\frac{V}{100} \right) + T_m \left(\frac{P}{18D} \right)$$

dove:

- T_v = carico reale del traffico viaggiatori espresso in tonnellate lorde rimorchiate giornaliere [tlr/g];
- T_m = carico reale del traffico merci espresso in tonnellate lorde rimorchiate giornaliere [tlr/g];
- V = velocità di esercizio dei treni ordinari [km/h];
- D = diametro minimo delle ruote [m];
- P = massimo carico per asse del veicolo ferroviario [t].

Utilizzando come materiale rotabile l'autotreno ALn 501-Ln 220-ALn 502 Minuetto e ai dati riportati nella tabella 6 si può calcolare il valore T:

T_v [tlr/g]	408
T_m [tlr/g]	0
V [km/h]	80
D [m]	0,85
P [t]	16

Tabella 6: Dati di calcolo

che risulta essere pari a: 326,4 tlr/g.

In base alla tabella 7 la linea Calalzo-Auronzo di Cadore risulta appartenere al gruppo 9.

Classificazione delle linee in base al carico fittizio	
Gruppo	Carico fittizio (tlr/g)
1	≥ 102.000
2	70.000 - 102.000
3	40.000 - 70.000
4	25.000 - 40.000
5	12.500 - 25.000
6	6.000 - 12.500
7	3.000 - 6.000
8	1.000 - 3.000
9	≤ 1.000

Tabella 7: Classificazione delle linee in base al carico fittizio

4.7 L'orario

L'orario ferroviario definisce:

- il percorso (l'esistenza di servizi sulle diverse relazioni origine/destinazione),
- i tempi di viaggio.
- Le prestazioni dei servizi:
 - accessibilità spaziale,
 - accessibilità temporale,
 - velocità.
- l'attrattività dei servizi,
- la capacità del sistema di essere competitivo con le modalità concorrenti.

le fermate. La presenza di un ottimale numero di fermate/stazioni:

- offre una migliore copertura del territorio con un maggiore numero di origini e destinazioni;

- aumenta l'attrattività del trasporto su rotaia anche per spostamenti da, verso e tra destinazioni secondarie, garantendo una maggiore redditività del servizio (aumento del grado di riempimento dei convogli) anche in realtà piccole, prive di grossi attrattori di traffico point-to-point;
- consente ad una fascia maggiore di popolazione di accedere al comfort del trasporto su rotaia.

La presenza di una fermata ferroviaria comporta, soprattutto in ambito rurale e montano, una notevole valorizzazione del territorio, in quanto modifica in maniera sensibile la geografia temporale, intesa come tempo necessario per realizzare gli spostamenti.

Una maggiore accessibilità e una maggiore scelta costituiscono importanti fattori di miglioramento della qualità della vita per gli abitanti, con effetti positivi anche nella valorizzazione del territorio.

Tale effetto comporta ritorni positivi per il trasporto ferroviario, con benefici diretti per l'operatore di trasporto ma con vantaggi misurabili anche sulle altre forme di mobilità in termini di riduzione di congestione, inquinamento e rumore.

Per la tratta in esame è stata effettuata una stima del tempo di percorrenza necessario per raggiungere la stazione di Auronzo Impianti partendo da Calalzo di Cadore e anche una stima del numero di treni transitabili in un'ora in entrambe le direzioni.

Gli input utilizzati sono stati:

- località di origine (Calalzo di Cadore) e di destinazione (Auronzo di Cadore) e viceversa,
- spazio percorso tra ogni fermata/stazione (Calalzo-Domegge, Domegge-Lozzo, Lozzo-Cima Gogna, Cima Gogna-Santa Caterina, Santa Caterina-Auronzo Centro, Auronzo Centro-Auronzo Impianti),
- tempo di percorrenza degli spazi riportati al punto precedente,
- tempi di sosta nelle singole fermate/stazioni; si è scelto di utilizzare un tempo di sosta pari a 4 minuti nelle stazioni (Calalzo, Lozzo, Auronzo Centro e Auronzo Impianti), per permettere lo scambio di due convogli provenienti da destinazioni opposte, e di 2 minuti nelle fermate (Domegge, Cima Gogna, Santa Caterina),
- velocità media.

Nella tabella 8 vengono riportati i valori utilizzati:

	Spazio [km]	Velocità [km/h]	Tempo [min]
Calalzo - Domegge	3,2	80	2,4
Domegge - Lozzo	3	80	2,3
Lozzo - Cima Gogna	7,11	80	5,3
Cima Gogna - Santa Caterina	3,3	80	2,5
Santa Caterina Auronzo Cento	2,13	80	1,6
Auronzo Centro - Auronzo Impianti	1,13	80	0,8

Tabella 8: Valori utilizzati per i calcoli

Da questi dati è possibile ricavare il grafico 1 il quale dimostra che il tempo di percorrenza risulta essere pari a 29 minuti, mentre il tempo necessario tra due treni, nella stessa direzione è 35 min per permettere che l'incrocio tra due treni di direzioni avvenga in corrispondenza delle stazioni di Lozzo di Cadore e Auronzo Centro.

Quindi in un'ora possono transitare due treni in direzioni opposte con un distacco temporale di 12 minuti (grafico 1).

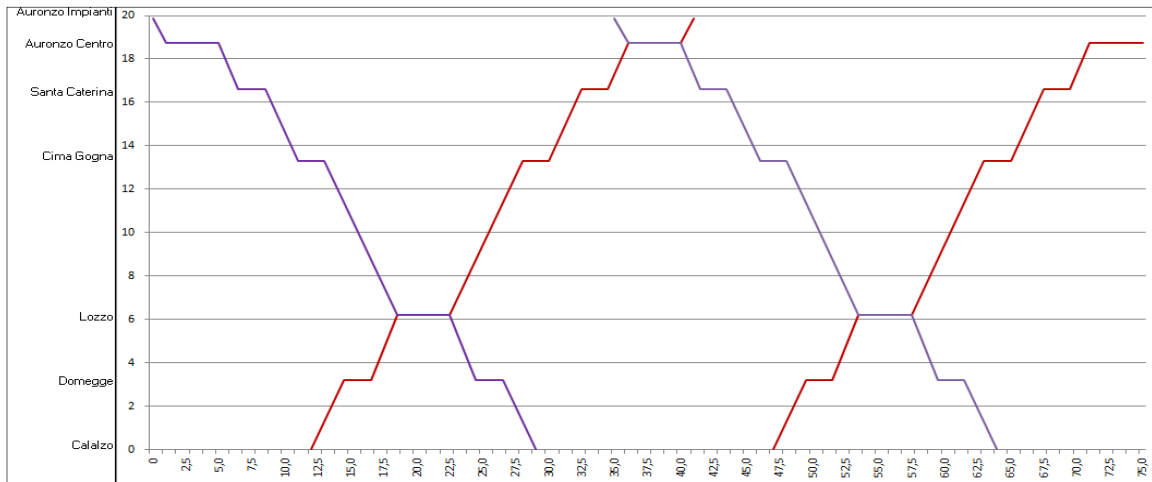


Grafico 1: Tempo di percorrenza Calalzo - Auronzo Impianti

CAPITOLO 5: Studio di prefattibilità

5.1 Planimetria

La linea ferroviaria inizia in corrispondenza della stazione di Calalzo dalla quale si dirama a binario unico non elettrificato. Il suo tracciato è stato progettato lungo la riva destra del fiume Piave, prima, e del fiume Ansiei, dopo. La linea ferroviaria, lungo la quale si alternano tratti all'aperto e in galleria, serve sia i principali abitati della valle (Calalzo, Domegge, Lozzo, Cima Gogna e Auronzo) che gli impianti di risalita del comune di Auronzo di Cadore (Tavola n.1).

L'andamento dell'asse ferroviario è stato progettato con l'intento di mantenere una adeguata distanza tra l'infrastruttura e gli edifici (non si è però riusciti sempre a soddisfare tale obiettivo) e tra l'infrastruttura e la sponda destra del Piave.

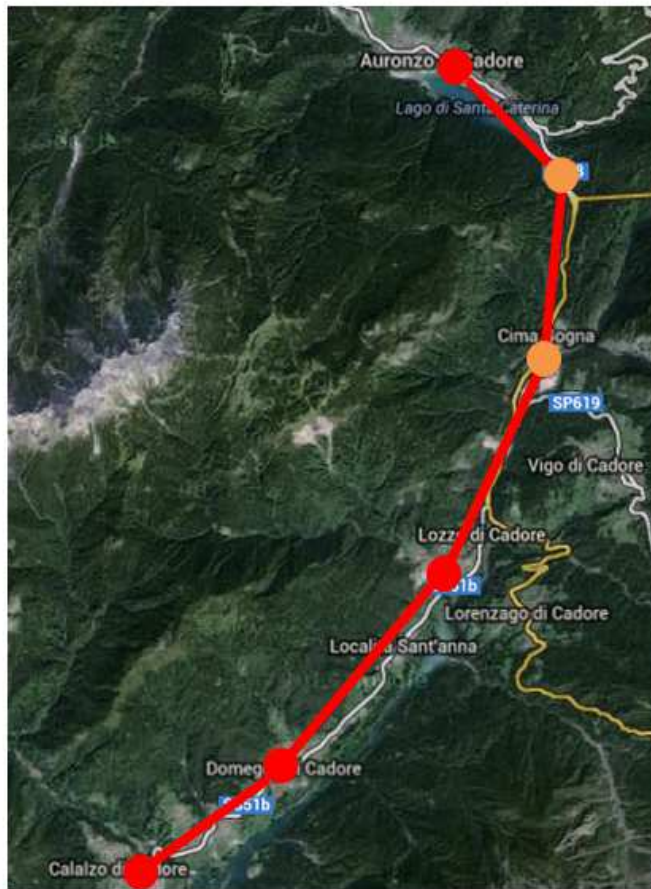


Figura 58: Tracciato ferroviario Calalzo di Cadore-Auronzo di Cadore

Per realizzare il tracciato inizialmente si è tracciata la poligonale d'asse, cioè una linea spezzata che approssima l'andamento reale dell'asse ferroviario.

Di seguito viene illustrato tramite fotografie aeree il percorso ipotizzato: partendo dall'attuale stazione ferroviaria di Calalzo di Cadore raggiunge la stazione ferroviaria di Auronzo di Cadore che serve gli impianti sciistici della località "Taiarezze".

La seguente leggenda illustra i simboli utilizzati nelle immagini:

	Stazione
	Fermata
	Percorso in galleria
	Percorso in superficie
	Ponte

La differenza tra stazione e linea ferroviaria o semplice fermata consiste nella presenza del doppio binario nella stazione e nella presenza di un solo binario in piena linea o nella semplice fermata.

5.1.1 Calalzo di Cadore

La nuova linea ferroviaria ha inizio dall'attuale stazione del comune di Calalzo di Cadore (figura 59). Questa stazione potrà essere utilizzata dai convogli anche come capolinea, perché dispone già di almeno tre binari, per consentire gli incroci tra due convogli che percorreranno la linea nei due sensi. Da tale stazione è necessario prevedere un ponte che permetta di attraversare il fiume Molinà.

Subito dopo l'attraversamento del fiume la linea prosegue, con percorso all'aperto (figura 28), mantenendosi in riva destra del Piave e restando ad una certa distanza dalle case che costituiscono la frazione di Vallesella (per la quale non è prevista nessuna fermata).

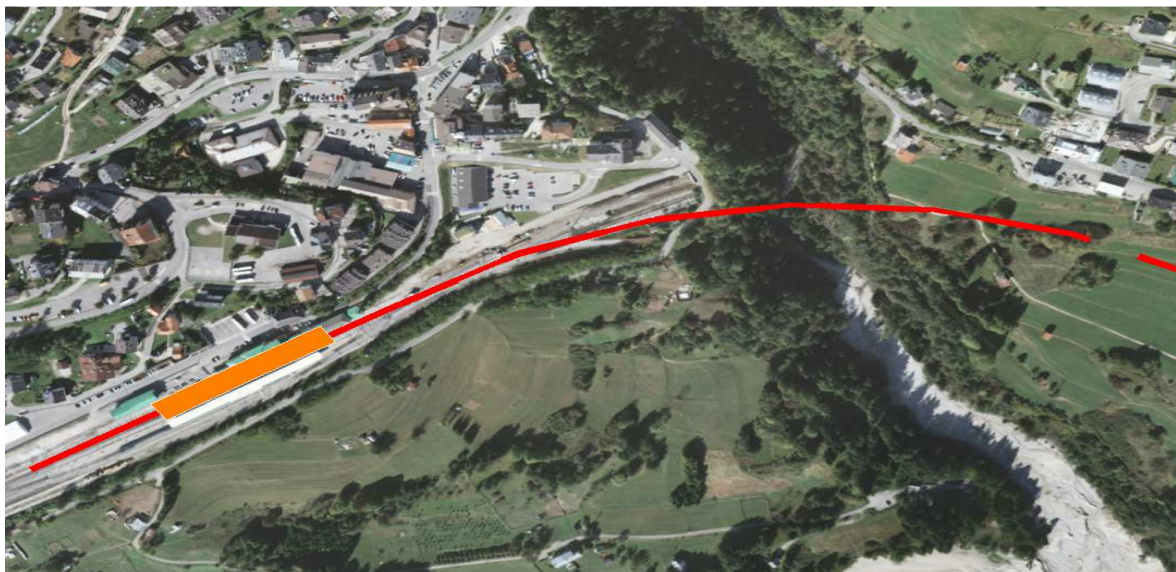


Figura 59: Stazione di Calalzo di Cadore



Figura 60: Tracciato Calalzo-Domegge di Cadore

5.1.2 Domegge di Cadore

È stata prevista una fermata nel comune di Domegge (figura 61). Tale fermata non è facilmente raggiungibile a piedi dal centro abitato, bisognerà quindi prevedere un facile accesso ad essa. Tra i comuni di Domegge di Cadore e Lozzo la linea ferroviaria rimane parallela alla sponda del Piave però con un percorso in galleria (figura 62).



Figura 61: Fermata di Domegge di Cadore



Figura 62: Tacciato Domegge di Cadore- Lozzo di Cadore

5.1.3 Lozzo di Cadore

La stazione nel Comune di Lozzo è prevista poco prima dell'omonimo abitato. Appena usciti dalla stazione di Lozzo di Cadore si ha uno dei primi punti critici della linea: in questo punto la nuova ferrovia intersecherà la strada statale "Alemagna". Per mantenere le pendenze di progetto bisognerà prevedere quindi un innalzamento della sede stradale della "Alemagna" per consentire alla linea di sottopassarla.

Il secondo punto critico lungo il tracciato ferroviario progettato è costituito dalla frana del Ruoiba. Questa frana è presente sul lato destro del fiume Piave in un punto in cui la valle del fiume Piave si restringe e diventa molto stretta e chiusa formando una "V". La frana non consente il passaggio della linea ferroviaria al di sopra di essa poiché il movimento franoso si presenta in attività tutt'ora e di difficile sistemazione.

Il tracciato della linea ferroviaria quindi, sviluppato in destra Piave, viene spostato all'ingresso della valle a forma di "V", subito dopo il comune di Lozzo, sulla sponda sinistra per mezzo di un ponte. Successivamente in corrispondenza della confluenza dell'Ansiei il tracciato è stato riportato sulla sponda destra.



Figura 63: Stazione Lozzo di Cadore



Figura 64: Frana del Ruoiba

5.1.4 Cima Gogna

Secondo il progetto, il tracciato ferroviario corre parallelamente alla valle del fiume Ansiei, stando in riva sinistra. La linea è stata posta ad est dell'abitato di Cima Gogna prevedendo alla fine del paese (dal lato "Auronzo di Cadore") una fermata. Questa struttura non è posizionata vicino al centro del paese ma è comunque facilmente raggiungibile ed è stata posta vicino all'intersezione con la strada che permette di raggiungere il Comelico.

In seguito la linea ferroviaria, attraverso una successione di percorsi fuori terra e in galleria, raggiunge il comune di Auronzo.

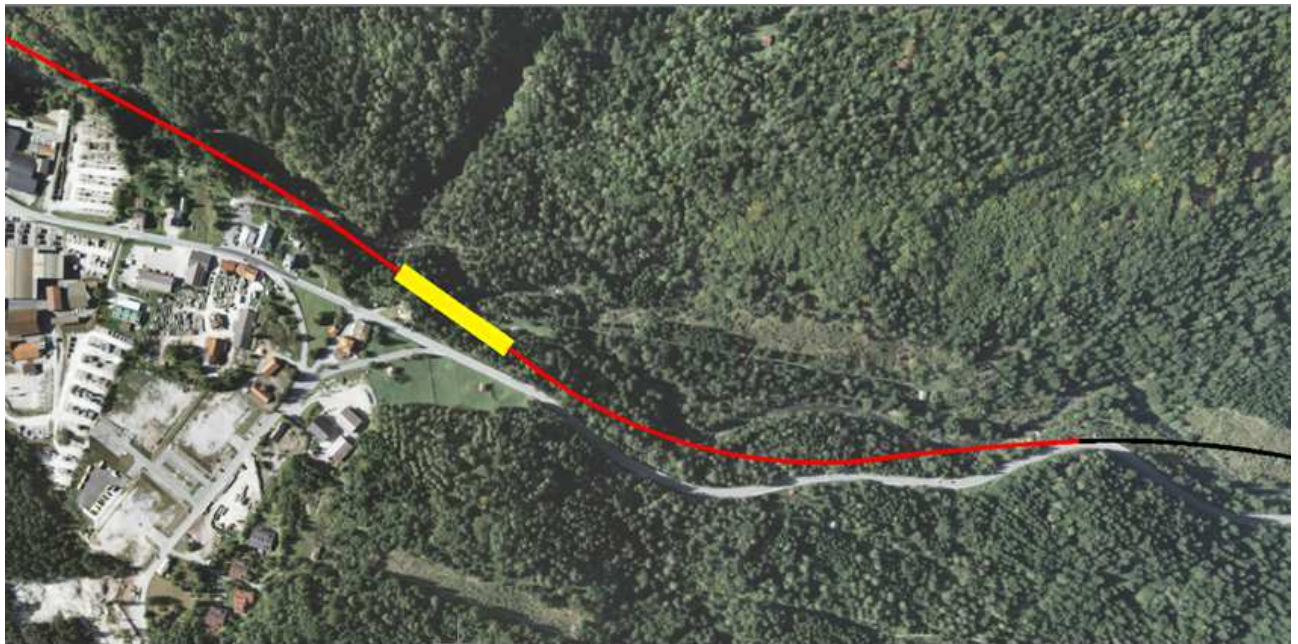


Figura 65: Fermata Cima Gogna

5.1.5 Auronzo di Cadore

Nel comune di Auronzo sono previste una fermata in corrispondenza della località "Santa Caterina" e due stazioni: una in corrispondenza al centro dell'abitato di Auronzo e una in corrispondenza degli impianti sciistici/di risalita del comune di Auronzo. La stazione di "Auronzo Impianti" costituisce la stazione terminale di questa nuova linea ferroviaria. La fermata e le due stazioni in comune di Auronzo di Cadore sono collocate sulla sponda destra del Lago di Santa Caterina e nel progetto sono previste in galleria, a causa della pendenza utilizzata durante la progettazione del tracciato ferroviario. Questa scelta progettuale è stata forzata dal fatto che si volevano raggiungere gli impianti sciistici posti alla quota di 850 m.s.l.m.

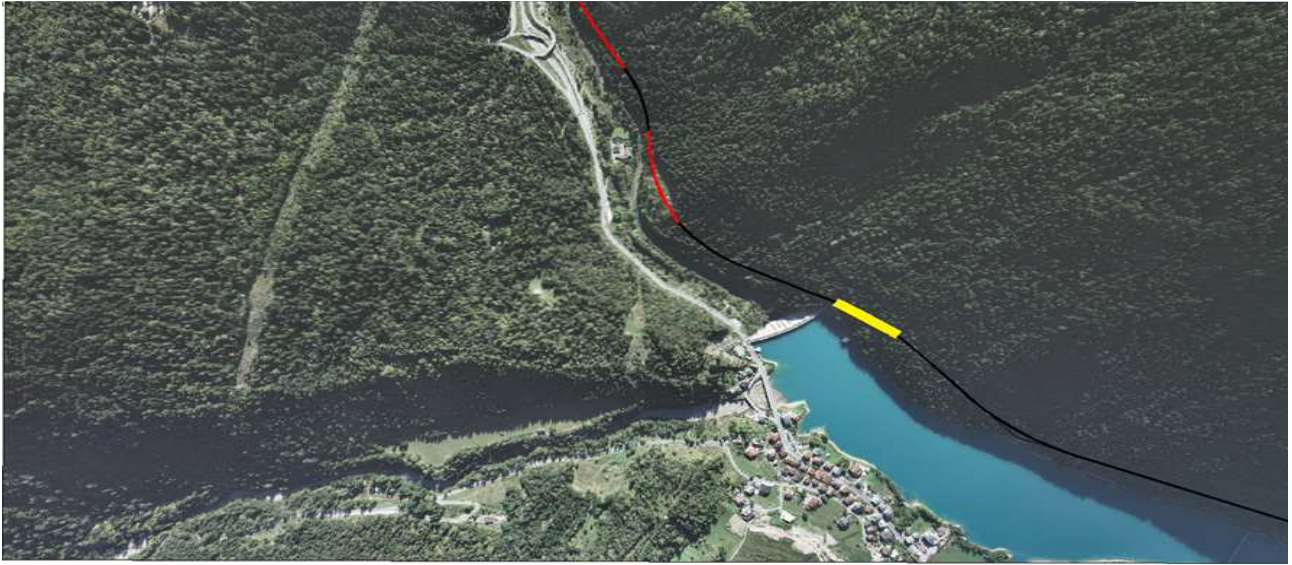


Figura 66: Fermata Santa Caterina



Figura 67: Stazione di Auronzo Centro



Figura 68: Stazione di Auronzo impianti sciistici

Come già indicato, il progetto del tracciato ferroviario si conclude in corrispondenza alla stazione terminale di “Auronzo Impianti”. La sua ipotetica prosecuzione potrebbe prevedere la congiunzione del paese di Auronzo con la località di Misurina.

5.2 Altimetria

Il profilo longitudinale (Tavola n.2) del tracciato permette di rappresentare il profilo altimetrico di progetto, e contiene, oltre alle quote di progetto, anche i valori altimetrici del terreno.

Il profilo longitudinale si realizza prendendo come riferimento i punti caratteristici del tracciato, i quali sono fissati sulla planimetria mediante le sezioni poste in corrispondenza dell'inizio, del centro e della fine di un rettilineo o di una curva.

Si riportano sull'asse delle ascisse le distanze tra i vari punti considerati e sulle ordinate le rispettive quote, utilizzando scale differenti, per mettere in evidenza le caratteristiche altimetriche del percorso; in particolare in questo caso si è adottata come scala orizzontale 1:10000 e come scala verticale 1:1000.

Nella parte bassa del profilo sono disposte delle finche che recano le annotazioni necessarie per la sua lettura, in particolare si trova:

- il nome sezioni,
- le distanze progressive,
- le distanze parziali,
- le quote terreno,
- le quote progetto,
- le distanze ettometriche
- l'andamento planimetrico
- l'andamento dei cigli.

5.3 Sezioni Trasversali

La sezione trasversale (Tavola n.3) è la proiezione del corpo stradale su un piano normale all'asse della linea ferroviaria. Le sezioni si rappresentano come appaiono ad un osservatore che volta le spalle al punto finale.

La scala di rappresentazione può essere 1:100 oppure 1:200.

Le sezioni trasversali possono essere di 3 tipologie:

Sezioni in rilevato: entrambi i cigli sono a quota superiore rispetto alla quota del terreno.

Sezioni in trincea: entrambi i cigli sono a quota inferiore rispetto alla quota del terreno.

Sezioni a mezzacosta: la quota di uno dei due cigli è superiore alla quota del terreno, mentre la quota dell'altro è inferiore.

Le scarpate hanno valori variabili in dipendenza della natura del terreno e, quindi, vanno scelte in funzione di questo. È necessario distinguere quando una sezione è in trincea (le scarpate hanno un'inclinazione pari a 1:1) e quando invece è in rilevato (le scarpate hanno una inclinazione pari a 2:3).

Al di sotto di ogni sezione vengono riportate i valori relativi a:

Progressive terreno

Parziali terreno

Quote terreno

Progressive progetto

Parziali progetto

Quote progetto

5.4 Sezioni Tipo

Le sezioni tipo (Tavola n.3) sono una rappresentazione di come dovrebbe essere eseguita la costruzione del corpo ferroviario e delle opere d'arte di completamento. Le sezioni tipo sono:

- una in rilevato
- una in trincea
- una a mezzacosta
- una su ponte
- una in galleria

Esse contengono tutti i particolari costruttivi (come ad esempio lo spessore della massicciata oppure lo spessore degli strati di scudatura o di fondazione) e le opere d'arte minori. La scala utilizzata per rappresentare le sezioni tipo è 1:50.

CAPITOLO 6: Prove sui terreni/materiali prelevati in situ per evidenziare le capacità portanti del terreno

6.1 Analisi granulometrica

I riferimenti normativi per effettuare questo tipo di prova sono: UNI EN 933-1 e UNI EN 933-2, ovvero CNR 23.

La norma UNI EN 933-1 descrive il metodo di riferimento di lavaggio e setacciatura per via secca per la determinazione della distribuzione granulometrica degli aggregati. La norma si applica a tutti gli aggregati, esclusi i filler.

La norma UNI EN 933-2 invece specifica le dimensioni nominali e la forma delle aperture degli stacci di tela metallica e di lamiera perforata utilizzati per i metodi di prova degli aggregati. Si applica ad aggregati di origine naturale o artificiale, inclusi gli aggregati leggeri.

L'analisi granulometrica di una terra è l'insieme delle operazioni occorrenti per determinare la distribuzione percentuale in peso dei grani secondo le loro dimensioni. La determinazione viene fatta mediante crivelli e setacci fino alla dimensione di 0,075 mm (sotto a queste dimensioni si ricorre ad altro tipo di analisi). La distribuzione viene graficamente rappresentata mediante la curva granulometrica.

6.1.1 Apparecchiatura di prova

1) Una serie di crivelli UNI 2234 aventi le seguenti aperture (le aperture sono indicative in quanto possono essere utilizzati crivelli di diversa apertura ed in numero diverso, purchè consentano di tracciare la curva granulometrica del materiale) in mm:

100 - 71 - 60 - 40 - 25 - 15 - 10 - 5

completi di coperchio e di fondo di raccolta. Si raccomanda che questi crivelli abbiano diametro non inferiore a 30 cm.

2) Una serie di setacci UNI 2332 aventi le seguenti aperture (come i crivelli le aperture dei setacci possono essere diverse) in mm:

2 - 1 - 0,425 - 0,18 - 0,075

completi di coperchio e di fondo di raccolta.

3) Una bilancia avente portata di circa 10 kg e sensibilità di 1 g.

4) Una stufa per essiccare il materiale a 105-110°C.

5) Un essiccatore per contenere il materiale estratto dalla stufa durante il raffreddamento prima di iniziare la vagliatura.

6.1.2 Preparazione dei provini

Dal campione di terra prelevato ed inviato in laboratorio si devono ricavare, mediante successive quartature, provini aventi peso, una volta essiccati, circa uguale a quello indicato nella tabella 9, in relazione alla dimensione massima dei grani presenti.

Dimensione max. del grano mm	Peso approssimativo del provino kg
100	35
71	25
60	15
40	10
25	5
15	2
10	1
5	0,5
2	0,2

Tabella 9: Relazione dimensione grano e peso provino

Il provino viene essiccato in stufa fino a peso costante alla temperatura di 105-110° C, e lasciato raffreddare in essiccatore fino alla temperatura ambiente.

La frazione di materiale superiore a 25 mm, purché priva di materiale fino aderente ai granuli o di grumi di materiale fino, può essere essiccata e raffreddata in altra maniera (raggi infrarossi, corrente di aria calda, ambiente asciutto, ecc.)

Il materiale essiccato se presenta un'apprezzabile frazione limo-argillosa, viene sottoposto all'analisi granulometrica per via umida, ossia previo lavaggio, diversamente si procederà per via secca.

6.1.3 Analisi granulometrica a secco

L'analisi viene effettuata mediante crivelli fino all'apertura di 5 mm compresa (crivellatura) e mediante setacci al di sotto di 5 mm (setacciatura).

6.1.3.1 Esecuzione della prova

Il materiale dopo essere stato rimosso dall'essiccatore, viene preventivamente pesato; sia P_T il suo peso. Si dispongono quindi i crivelli indicati precedentemente in colonna sul fondo di raccolta con i diametri di apertura crescenti dal basso verso l'alto, si versa il materiale sul crivello superiore della colonna, si provvede a coprirlo con il coperchio e si dà inizio alla crivellatura.

L'operazione della crivellatura può essere effettuata mediante apparecchio meccanico, oppure a mano, imprimendo ai crivelli un movimento tale che il materiale sia portato a muoversi su tutta la superficie dei crivelli stessi.

Ci si può accertare che l'operazione sia finita separando i singoli crivelli della serie e continuando la crivellatura del materiale trattenuto su ognuno al di sopra di un foglio di carta per la durata di 30 secondi; non vi dovrà più essere una quantità apprezzabile di passante.

Terminata la crivellatura si pesa il materiale raccolto nel fondo che rappresenta il passante al crivello da 5 mm di apertura e lo si indica con P_5 . A questo peso si aggiunge il peso del materiale trattenuto sul crivello da 5 mm: l'insieme rappresenta cumulativamente il peso del passante al crivello da 10 mm e lo si indica con P_{10} .

Aggiungendo successivamente i pesi dei materiali trattenuti su ciascun crivello, procedendo verso l'alto, si ottengono i pesi dei passanti ai vari crivelli della serie:

siano P_5, \dots, P_{100} tali pesi.

Nell'effettuare le pesate si dovrà aver cura di tenere separato il materiale raccolto nel fondo da quello trattenuto sui vari crivelli, dovendo il primo essere sottoposto a successiva setacciatura.

Si procede quindi alla setacciatura del materiale passante al crivello da 5 mm.

Se esso è in quantità tale da non sovraccaricare i setacci, si opera su tutto il quantitativo, altrimenti si eseguono successive riduzioni fino ad ottenere un quantitativo di circa 500 g. Si indica con R il rapporto fra il peso P_5 di tutto il passante al crivello da 5 mm ed il peso q_5 del materiale ridotto.

Sul quantitativo q_5 si eseguono le stesse operazioni descritte ai punti precedenti con la sola differenza che si impiegano i setacci anziché i crivelli.

Ad operazione ultimata si conoscono i pesi $q_2, q_1, q_{0,4}, q_{0,18}, q_{0,075}$, della porzione di materiale proveniente dalla riduzione del passante al crivello da 5 mm. Moltiplicando questi pesi per R si otterranno i pesi di materiale passante $P_2, \dots, P_{0,075}$ relativi all'intero provino di terra.

6.1.3.2 Elaborazione dei risultati

Tutte le pesate effettuate vengono annotate e riportate su apposito modulo.

Le percentuali di passante ai singoli crivelli o setacci si ottengono come rapporto tra il peso del passante ed il peso P_T del provino, tenendo conto dell'eventuale operazione di riduzione effettuata.

I risultati possono essere riportati o sotto forma tabulare o sotto forma di diagramma. Nel diagramma sono riportate in ordinate, in scala aritmetica, le percentuali di passante o di trattenuto. In ascisse, in scala logaritmica, le aperture dei crivelli e dei setacci.

6.1.4 Analisi granulometrica per via umida

Questo tipo di analisi non viene descritta in quanto non verrà effettuata nei provini raccolti in situ.

6.2 Limiti di Atterberg

La norma a cui si fa riferimento per effettuare questo tipo di prova è la: CNR UNI 10014.

I limiti di consistenza (o di Atterberg) sono i valori di umidità di una terra assunti convenzionalmente per caratterizzare i passaggi: dallo stato liquido allo stato plastico (limite dello stato liquido w_L); dallo stato plastico allo stato semisolido (limite dello stato plastico w_p); dallo stato semisolido allo stato solido (limite di ritiro w_s).

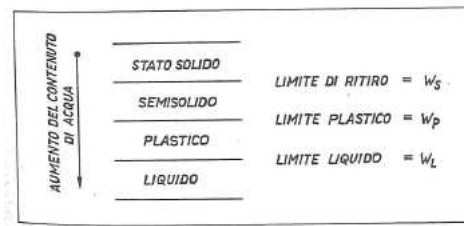


Figura 69: Rappresentazione dei limiti di Atterberg

I limiti di consistenza devono essere determinati su materiale passante allo staccio 0,425 UNI 2332. La stacciatura deve essere eseguita su materiale preventivamente essiccato a temperatura non maggiore di 50°C e disgregato con pestello gommato, evitando di frantumare i singoli granuli della terra.

6.2.1 Limite dello stato liquido w_L di una terra

Limite dello stato liquido w_L (limite liquido, limite di liquidità) di una terra è l'umidità in corrispondenza

della quale la terra assume la consistenza individuata dalla prova indicata al punto 6.2.1.2.

6.2.1.1 Apparecchiatura di prova

1) Apparecchio dotato di una coppa di ottone con dispositivo meccanico che consente la caduta ripetuta della coppa su di una base di ebanite dall'altezza di 10 mm (figura 290)

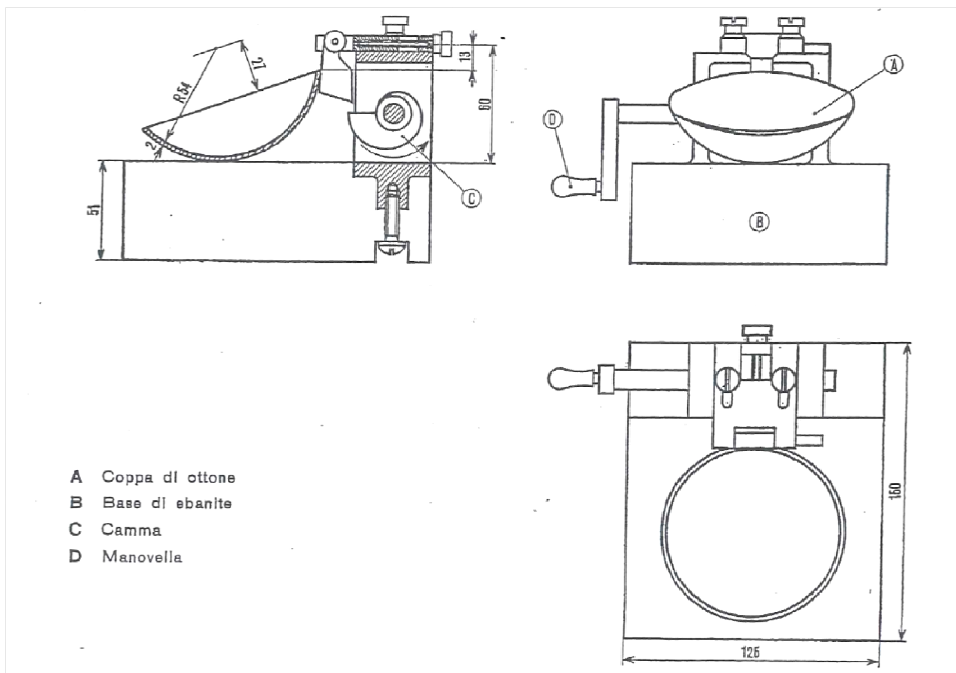


Figura 70: Apparecchio di prova

2) Utensile avente la forma e le dimensioni indicate nella (figura 71).

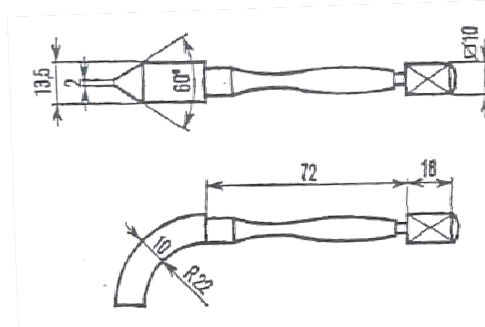


Figura 71: Utensile per fare il solco

3) Una spatola.

4) Apparecchiatura per la determinazione dell'umidità.

6.2.1.2 Esecuzione della prova

Si pesano in una capsula 100÷150 g di terra, si aggiungono piccole quantità di acqua distillata e si mescola accuratamente dopo ogni aggiunta per distribuire nella miglior maniera possibile l'acqua in tutta la terra. Si ripete questa operazione fino ad ottenere una umidità minore del presumibile limite liquido dello stato liquido, ovvero una consistenza all'incirca corrispondente alla chiusura del solco con almeno 35 colpi..

Quindi, dopo aver proceduto ad un ulteriore rimescolamento, si divide il campione in almeno 4 parti uguali.

Si pone una di queste nella coppa di ottone dell'apparecchio e la si liscia con la spatola in modo che sia limitata superiormente da una superficie piana parallela al bordo della coppa e che lo spessore massimo corrisponda all'incirca a 10 mm. Indi con l'utensile si traccia un solco dall'alto verso il basso, avendo cura di asportare la terra dal solco fino al fondo della coppa.

Ruotando la manovella si fa cadere la coppa sulla base con frequenza di 2 colpi al secondo, finché il solco si chiuda per una lunghezza di 13 mm, e si rileva il numero di colpi. Si preleva quindi un piccolo quantitativo di terra del centro della coppa e se ne determina l'umidità.

Dopo aver ultimato le rimanenti parti del campione con contenuti crescenti di acqua ed averle rimescolate ciascuna accuratamente, si ripete l'operazione sopra descritta fino ad ottenere la chiusura del solco per diversi numeri di colpi compresi tra 35 e 10.

6.2.1.3 Elaborazione dei risultati

Si riportano in un diagramma semilogaritmico, avente in scala lineare le umidità ed in scala logaritmica i numeri di colpi, i punti corrispondenti al 4 o più risultati della prova e si traccia la retta passante per i punti così trovati.

Si legge su tale retta l'umidità corrispondente al numero di colpi pari a 25: l'umidità così individuata è per definizione il limite dello stato liquido.

6.2.2 Limite dello stato plastico w_p di una terra.

Limite dello stato plastico w_p (limite plastico, limite di plasticità) di una terra è l'umidità in corrispondenza della quale la terra assume la consistenza individuata dalla prova al punto 6.2.2.2.

6.2.2.1 Apparecchiatura di prova

- 1) Capsula di porcellana del diametro di 100÷120 mm.
- 2) Spatola.
- 3) Piano di vetro smerigliato o di marmo levigato.
- 4) Apparecchiatura per la determinazione dell'umidità.

6.2.2.2 Esecuzione della prova

Circa 15 g di terra, preparata e trattata, vengono ulteriormente rimescolati e con essi si forma una pallina all'incirca sferica. La pallina è messa sul piano di prova. Indi, mediante lieve compressione e rullatura con le dita di una mano, essa è ridotta ad un cilindretto del diametro di 3mm. Se il cilindretto di terra si rompe prima che tale diametro sia raggiunto, occorre bagnare ulteriormente la terra e ripetere la prova; se invece si può scendere al di sotto dei 3 mm di diametro senza che il cilindretto si rompa in frammenti di 5÷10 mm di lunghezza, occorre ripetere la prova fino a che il cilindretto, essiccandosi per effetto delle successive manipolazioni, si sbricioli non appena raggiunto il diametro di 3 mm.

Si raccoglie la terra così sbriciolata e se ne determina l'umidità.

6.2.2.3 Elaborazione dei risultati

L'umidità così determinata indica il limite dello stato plastico della terra.

La prova deve essere ripetuta due volte. Le due determinazioni non devono differire fra loro più di una certa percentuale, in caso contrario la prova deve essere ripetuta, scartando i valori precedentemente ottenuti.

Il risultato si ottiene come media delle due determinazioni.

6.2.3 Indice di plasticità

La differenza $w_L - w_p$ è detta indice di plasticità I_p . Per terre non plastiche si considera convenzionalmente $I_p = 0$

6.2.4 Limite di ritiro w_s di una terra

Limite di ritiro w_s di una terra è l'umidità al di sotto della quale l'essiccamento avviene senza ulteriore riduzione di volume.

La descrizione della prova necessaria per determinare tale limite viene omessa in quanto, per i materiali prelevati in situ, non verrà calcolato questo valore.

6.3 Masse volumiche

Le norme di riferimento per determinare la massa volumica reale, apparente e apparente non addensata sono: CNR 62, CNR 63 e CNR 64.

6.3.1. CNR 62

Per massa volumica apparente di un aggregato non addensato s'intende la massa di un volume unitario del materiale, inclusi i vuoti intergranulari e i pori.

6.3.1.1 Apparecchiatura di prova

1) Recipienti cilindrici metallici indeformabili, con diametro pari all'altezza e di volume noto, in funzione della dimensione massima degli aggregati, scelto secondo la tabella 10:

Dimensioni max del granulo mm	Capacità min. del recipiente dm ³
10	2,0
40	10,0
71	20,0

Tabella 10: Dimensioni recipiente in funzione delle dimensioni del grano

2) Bilancia con sensibilità non inferiore allo 0,5% della massa del campione in esame.

3) Stufa per l'essiccazione a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ con termostato della sensibilità di 5°C .

6.3.1.2 Esecuzione della prova

Il materiale tutto passante al crivello 71 UNI va essiccato a $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ fino a massa costante.

Il recipiente viene riempito completamente con una sessola, fino a far traboccare il materiale. Il materiale viene livellato a raso dell'orlo, curando che non avvengano assestamenti.

Il materiale contenuto nel cilindro viene pesato con l'approssimazione dello 0,5 % della sua massa.

L'operazione va ripetuta tre volte e i risultati mediati.

6.3.1.3 Elaborazione dei risultati

La massa volumica degli aggregati espressa in grammi al centimetro cubo è data da: $\gamma = \frac{m}{v}$

con:

m = massa precedentemente determinata

v = volume del recipiente

6.3.2. CNR 63

La massa volumica apparente dei granuli di un aggregato è la massa di un volume unitario del materiale solido, inclusi i pori interni ai granuli non saturabili con acqua.

6.3.2.1 Apparecchiatura di prova

1) Bilancia con sensibilità non inferiore allo 0,5% della massa del campione in esame.

2) Stufa per l'essiccazione a $110 \pm 5^\circ\text{C}$

3) Bilancia idrostatica con sensibilità non inferiore a 0,5% della massa del campione in esame.

4) Serie di picnometri aventi un volume non inferiore a circa 3 volte il volume dell'aggregato.

5) Un termometro con scala da 0° a 100°C con sensibilità non minore di $0,5^\circ\text{C}$.

6) Crivelli da 10, 25, 40, 71 mm (serie UNI 2334 o setacci equivalenti).

7) Cestelli cilindrici con maglie e fori di circa 5 mm di apertura aventi diametro ed altezza commisurati alla quantità di materiale da pesare.

- 8) Recipiente per la pesata idrostatica di capacità idonea a contenere sommerso il cestello.
- 9) Essiccatore.

6.3.2.2 Metodi di prova

La determinazione della massa volumica apparente va eseguita in modo diverso secondo i seguenti casi:

- a) materiali totalmente passanti al crivello da 10 mm
- b) materiali totalmente trattenuti al crivello da 10 mm
- c) materiali parzialmente passanti al crivello da 10 mm.

È pertanto necessario procedere preliminarmente alla vagliatura sul crivello da 10 mm.

6.3.2.3 Materiali totalmente passanti al crivello da 10 mm (metodo del picnometro)

Preparazione del provino

Da un campione rappresentativo dell'aggregato si prelevano, attraverso riduzione, circa 500 g di materiale. Il materiale viene essiccato in stufa a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ e lasciato raffreddare in essiccatore. Si ripete l'operazione fino a massa costante.

Esecuzione della prova

Il materiale così preparato viene pesato con precisione di 0,1 g ed introdotto nel picnometro.

Si versa nel picnometro acqua distillata in quantità tale da sommergere il materiale e riempire il picnometro stesso per circa metà. Si lascia il materiale in acqua per almeno 4 ore.

Si estrae l'aria contenuta nell'acqua e fra i granuli dell'aggregato con uno dei seguenti procedimenti:

- si sottopone il contenuto del picnometro per almeno 20 minuti ad un vuoto parziale, corrispondente ad una pressione dell'aria non maggiore di 13,33 kPa, avendo cura di agitare frequentemente il recipiente.
- si fa bollire con cautela il contenuto del picnometro per almeno 20 minuti, avendo cura di agitare continuamente il recipiente. Dopo l'ebollizione si lascia raffreddare il picnometro a temperatura ambiente per non meno di 6 ore.

Si versa nel picnometro altra acqua distillata disaerata di recente ed a temperatura ambiente fino a raggiungere, con la superficie inferiore del menisco, la linea di fede del picnometro, e si asciuga accuratamente la parte interna superiore alla linea di fede e tutta la superficie esterna del picnometro.

Si pesa quindi il picnometro e, subito dopo la pesata, si inserisce il bulbo del termometro al centro del recipiente e si legge con precisione di $\pm 0,5^\circ\text{C}$ la temperatura t .

Si vuota il picnometro e lo si riempie con sola acqua distillata disaerata di recente e che si trovi alla stessa temperatura t letta precedentemente e lo si pesa. Questa operazione può essere sostituita, una volta per tutte, dalla curva di taratura del picnometro.

Elaborazione dei risultati

La massa volumica apparente γ_g dei granuli dell'aggregato, espressa in grammi al centimetro cubo, è data da:

$$\gamma_g = \frac{p}{p - p_2 + p_1} \gamma_w$$

dove:

p è la massa dell'aggregato essiccato contenuto nel picnometro;

p_1 è la massa, alla temperatura t , del picnometro riempito di sola acqua distillata;

p_2 è la massa, alla temperatura t , del picnometro riempito di aggregato e di acqua distillata;

γ_w è la massa volumica dell'acqua distillata e disaerata alla temperatura t , indicata alla tabella 11

Peso specifico dell'acqua distillata (Istituto Smithsoniano)

t °C	γ_w g/cm ³	t °C	γ_w g/cm ³	t °C	γ_w g/cm ³
0	0,999 87	+ 17	0,998 80	+ 34	0,994 40
+ 1	0,999 93	+ 18	0,998 62	+ 35	0,994 06
+ 2	0,999 97	+ 19	0,998 43	+ 36	0,993 71
+ 3	0,999 99	+ 20	0,998 23	+ 37	0,993 36
+ 4	1,000 00	+ 21	0,998 02	+ 38	0,992 99
+ 5	0,999 99	+ 22	0,997 80	+ 39	0,992 62
+ 6	0,999 97	+ 23	0,997 56	+ 40	0,992 24
+ 7	0,999 93	+ 24	0,997 32	+ 41	0,991 86
+ 8	0,999 88	+ 25	0,997 07	+ 42	0,991 47
+ 9	0,999 81	+ 26	0,996 81	+ 43	0,991 07
+ 10	0,999 73	+ 27	0,996 54	+ 44	0,990 66
+ 11	0,999 63	+ 28	0,996 26	+ 45	0,990 25
+ 12	0,999 52	+ 29	0,995 97	+ 46	0,989 82
+ 13	0,999 40	+ 30	0,995 67	+ 47	0,989 40
+ 14	0,999 27	+ 31	0,995 37	+ 48	0,988 96
+ 15	0,999 13	+ 32	0,995 05	+ 49	0,988 52
+ 16	0,998 97	+ 33	0,994 73	+ 50	0,988 07

Tabella 11: Peso specifico dell'acqua distillata

6.3.2.4 Materiali totalmente trattenuti al crivello da 10 mm (metodo della bilancia idrostatica)

Da un campione rappresentativo si prelevano, attraverso riduzione non meno di:

- 2 kg di materiale per dimensioni fino a 25 mm
- 5 kg di materiale per dimensioni fino a 40 mm
- 10 kg di materiale per dimensioni fino a 71 mm

Esecuzione della prova

Il materiale così prelevato viene lavato sul crivello da 10 mm e posto in uno dei cestelli.

Si introduce il cestello nel recipiente e si riempie questo con acqua distillata, fino a coprire completamente materiale e cestello per circa 2 cm.

Si estrae l'aria contenuta nell'acqua e fra i granuli dell'aggregato lasciando il materiale in acqua per almeno 4 ore e avendo cura di rimuoverlo frequentemente finché non si noti la scomparsa di bollicine d'aria.

Si pesa il cestello con il materiale in esso contenuto immerso in acqua. Subito dopo si estrae il cestello dal recipiente, s'inserisce il bulbo del termometro nell'acqua e si legge con precisione di $\pm 0,5^\circ\text{C}$ la temperatura t .

Si vuota il cestello e lo si pesa in acqua. Il materiale contenuto nel cestello viene essiccato in stufa a $110 \pm 5^\circ\text{C}$, lasciato raffreddare e quindi pesato dopo aver raggiunto massa costante.

Elaborazione dei risultati

La massa volumica apparente dei granuli, espressa in grammi al centimetro cubo, è data da:

$$\gamma_g = \frac{p}{p_3 - p_4 + p_5} \gamma_w$$

dove:

p_3 è la massa dell'aggregato posto nel cestello ed essiccato

p_4 è la massa dell'aggregato e del cestello immersi in acqua alla temperatura t

p_5 è la massa dell'aggregato e del cestello in acqua alla temperatura t

γ_w è la massa volumica dell'acqua distillata alla temperatura t indicata alla Tab.1

6.3.2.5 Materiali parzialmente passanti al crivello da 10 mm

Da un campione rappresentativo dell'aggregato si prelevano, attraverso riduzione, da 2 a 10 kg di materiale. Si effettua la separazione delle due frazioni sul crivello da 10 mm e dopo la loro essiccazione a massa costante se ne determinano le percentuali in massa.

Esecuzione della prova

Per la frazione passante al crivello da 10 mm si opera come indicato al punto 4.

Per la frazione trattenuta al crivello da 10 mm si opera come indicato al punto 5.

Le due determinazioni devono essere eseguite o riportate alla stessa temperatura.

Elaborazione dei risultati

La massa volumica γ_g dei granuli dell'aggregato, espressa in grammi al centimetro cubo, è data da:

$$\gamma_g = \frac{Na \gamma_{ga} + Nb \gamma_{gb}}{100}$$

dove:

Na e Nb sono le percentuali in massa rispettivamente della frazione passante e di quella trattenuta al crivello da 10 mm,

γ_{ga} e γ_{gb} sono le masse volumiche dei granuli delle frazioni di cui sopra.

6.3.3. CNR 64

La massa volumica reale dei granuli di un aggregato è la massa di un volume unitario del materiale solido, esclusi i pori esistenti all'interno dei granuli.

6.3.3.1 Apparecchiatura di prova

- 1) Un picnometro di vetro avente una capacità compresa tra 100 e 500 cm³.
- 2) Una bilancia con sensibilità non minore di 0,01 g.
- 3) Un termometro con sensibilità non minore di 0,5 °C.
- 4) Una stufa termostatica per l'essiccazione del materiale a 110°± 5° C

6.3.3.2 Preparazione del provino

Un campione rappresentativo di circa 2 kg per aggregati con dimensioni superiori a 25 mm e di 1 kg di dimensioni inferiori di 25 mm, viene frantumato e quindi polverizzato mediante mulino a palle o mortaio meccanico. Il materiale viene quindi passato al setaccio 0,2 UNI, il trattenuto di tale setaccio va eliminato, il passante viene essiccato in stufa a 110± 5°C e lasciato raffreddare in essiccatore. L'operazione va ripetuta fino a massa costante.

6.3.3.4 Esecuzione della prova

Da 20 a 50 g di materiale così preparato vengono prelevati mediante riduzione, pesati con precisione di ± 0,01 g ed introdotti nel picnometro.

Si versa nel picnometro acqua distillata in quantità tale da riempire il picnometro stesso per circa metà, lasciando il materiale in acqua per almeno 4 ore.

Si estrae l'aria contenuta nell'acqua con uno dei seguenti procedimenti:

- si sottopone il contenuto del picnometro, per non meno di 20 min, ad un vuoto parziale corrispondente ad una pressione dell'aria non maggiore di 13,33 KP_s, avendo cura di agire frequentemente il picnometro.
- si fa bollire lievemente il contenuto del picnometro per non meno di 20 min agitandolo frequentemente. Dopo l'ebollizione si lascia raffreddare a temperatura ambiente.

Si versa nel picnometro altra acqua distillata disaerata di recente ed a temperatura ambiente fino a raggiungere, con la superficie inferiore del menisco, la linea di fede del picnometro, e si asciuga accuratamente la parte interna superiore alla linea di fede e tutta la superficie esterna del picnometro. Si pesa quindi il picnometro e, subito dopo la pesata, si inserisce il bulbo del termometro al centro del picnometro e si legge con precisione di $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ la temperatura t .

Si vuota il picnometro e lo si riempie con sola acqua distillata disaerata di recente e che si trovi alla stessa temperatura t letta precedentemente e lo si pesa.

Questa operazione può essere sostituita, una volta per tutte, dalla curva di taratura del picnometro.

6.3.3.5 Elaborazione dei risultati

La massa volumica reale γ_r , espressa in grammi al centimetro cubo, è data da:

$$\gamma_r = \frac{p}{p + p_2 - p_1} \gamma_w$$

dove:

p massa del materiale essiccato contenuto nel picnometro

p_2 massa alla temperatura t , del picnometro riempito di sola acqua distillata

p_1 massa alla temperatura t , del picnometro riempito di materiale e acqua distillata

γ_w massa dell'acqua distillata e disaerata alla temperatura t , come da tabella allegata dei valori dell'Istituto Smithsonian, tabella 11.

6.4 Prova Proctor

Per effettuare questo tipo di prova si fa riferimento all'appendice B della norma UNI EN 13286-2.

In questa appendice viene spiegato un metodo di prova per determinare dalla relazione tra il contenuto di acqua e la massa volumica a secco di miscele legate e non legate con leganti idraulici 0/45 dopo costipamento alle condizioni di prova specificate utilizzando il costipamento Proctor. La prova si applica per il controllo ordinario degli strati di asfalto.

6.4.1 Apparecchiatura di prova

- 1) Stufa in grado di mantenere una temperatura di $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- 2) Mescolatrice a bacinella.
- 3) Sessola.
- 4) Cilindri graduati di misurazione, da 100 ml a 500 ml.
- 5) Setacci di prova, con aperture di maglia di 45 mm e 31,5 mm.
- 6) Cordone.
- 7) Stampo Proctor grande (B) o se è necessaria una prolunga extra, lo stampo deve avere diametro di $(152 \pm 0,5)$ mm e altezza $(177,5 \pm 0,5)$ mm.
- 8) Pestello (A).

L'altezza di caduta libera della massa battente deve essere (305 ± 5) mm. Se si utilizza un costipatore automatico deve essere utilizzata una configurazione che consenta di controllare la posizione dello stampo in modo che i colpi siano distribuiti uniformemente sulla superficie.

9) Piastra metallica circolare, di diametro (148 ± 1) mm e spessore $(7,5 \pm 0,5)$ mm.

10) Piastra metallica di Vernier, con capacità di lettura al più vicino 0,1mm.

6.4.2 Preparazione

La quantità di materiale secco deve essere da 4 kg a 6 kg circa.

Il materiale deve essere vagliato secondo la EN 933-1 (vaglio a secco).

Si determina la percentuale U di materiale secco sul setaccio di 31,5 mm dalla quantità totale di materiale secco.

Se questa percentuale è minore di 10 deve essere utilizzata la quantità totale del campione tralasciando il materiale trattenuto sul setaccio di 45 mm. La massa volumica Proctor deve essere corretta utilizzando la massa volumica dei granuli di aggregato trattenuti sul setaccio di 45 mm.

Se la percentuale U è maggiore di 10 ma minore di 25 deve essere utilizzato il materiale passante al setaccio di 31,5 mm per determinare la massa volumica Proctor. La massa volumica Proctor deve essere corretta utilizzando la massa volumica dei granuli di aggregato trattenuti sul setaccio di 31,5 mm.

6.4.3 Procedimento

Si pesa lo stampo Proctor q con accuratezza fino a 1 g.

Si pone il campione nella mescolatrice a bacinella. Per raggiungere il contenuto di acqua scelto, si aggiunge il 3% circa (in massa) di acqua al materiale secco e si miscela accuratamente con la sessola fino ad ottenere una miscela omogenea. Quindi si aggiungono porzioni dell'1% (in massa) di acqua fino a raggiungere il contenuto di acqua stimato.

Durante la miscelazione osservare quanto segue:

- se l'acqua è penetrata bene nella miscela, cioè se tutti i granuli sono stati inumiditi;
- se il materiale si attacca alla mescolatrice a bacinella e il fondo della mescolatrice rimane bagnato;
- se piccole strisce di materiale umido rimangono sul fondo della bacinella;
- secondo il materiale, se i granuli luccicano.

Bisogna impedire al materiale di essiccarsi.

Si costipa il materiale miscelato nello stampo in tre strati uguali, ciascuno dei quali avente altezza di 40 mm circa. Mentre si versa il materiale nello stampo si deve evitare la segregazione. Vengono applicati 56 colpi ben distribuiti sulla superficie dello strato superiore. Si pone la piastra metallica sul campione costipato e si continua il costipamento con 20 colpi su questa piastra metallica.

Dopo il costipamento si stabilisce la differenza in altezza tra la piastra metallica e il bordo superiore dello stampo, con accuratezza fino a 0,1 mm, utilizzando i calibri di Vernier su quattro punti, marcati su aree equamente distribuite lungo il perimetro dello stampo e si calcola il contenuto del campione di costipato V in millilitri (ml) (sottraendo lo spessore della piastra metallica).

Si rimuove la piastra metallica e si pesa lo stampo con il materiale a, in grammi (g), con accuratezza fino a 1 g.

Si rimuove il materiale umido dallo stampo e lo si pesa come materiale b, in grammi (g), con accuratezza fino a 1g.

Si essicca il materiale a massa costante nella stufa a una temperatura di (110 ± 5) °C e lo si pesa una volta raffreddato a temperatura ambiente come materiale c, in grammi (g), con accuratezza fino a 1 g.

Se dopo il costipamento il contenuto è minore di 2,2 l o maggiore di 2,5 l, la prova deve essere ripetuta utilizzando una nuova quantità di materiale.

6.5 Misura del modulo elastico attraverso strumento ad ultrasuoni

Il modulo elastico è stato calcolato attraverso gli ultrasuoni. Questa è una procedura d'indagine non distruttiva basata sulla misurazione del tempo di transito delle onde ultrasoniche attraverso campioni o strutture.

L'energia propagata da una sonda emittente è massima in direzione ortogonale alla superficie a contatto con la sonda stessa. In alcuni casi tuttavia è necessario indagare percorsi di propagazione differenti.

È possibile misurare la velocità degli impulsi disponendo i trasduttori in tre modi differenti:

- 1) su due facce opposte (trasmissione diretta),
- 2) su due facce adiacenti (trasmissione semidiretta)
- 3) sulla medesima superficie (trasmissione indiretta).

Nel caso in studio i provini sono stati sottoposti a trasmissione diretta.

Per effettuare le misurazioni è necessario spalmare un sottile strato di pasta di contatto sulle facce delle due sonde, e/o sulla superficie da controllare ed appoggiarle alla superficie del campione da analizzare.

È necessario applicare una lieve pressione sulle sonde, al variare della quale il tempo visualizzato può subire piccole variazioni, (se la pressione applicata è forte il tempo visualizzato diminuisce leggermente). La differenza è maggiore se la superficie del campione non è particolarmente liscia. In questo caso è necessario aumentare la quantità della pasta di contatto. In ogni caso è buona norma esercitare la pressione in modo costante per alcuni secondi e rilevare il tempo più basso visualizzato.

Per trasmissioni dirette il percorso di transito coincide con la distanza tra le sonde e, se possibile, la precisione di misura deve essere $\pm 1\%$ (in ogni caso la precisione di misura va registrata assieme ai risultati di prova).

Per trasmissioni dirette e semidirette la velocità degli impulsi ultrasonici deve essere calcolata come:

$$V = \frac{L}{T} \text{ con:}$$

V= velocità degli impulsi (km/s)

L= percorso di transito (mm)

T= tempo di transito (μ s)

Quando un impulso ultrasonico incontra un'interfaccia tra due materiali subisce diffrazioni e riflessioni che ne attenuano la velocità. Sfruttando questa proprietà si possono individuare difetti, vuoti, regioni degradate e fessurazioni del materiale.

Dalla misura della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici (onda diretta) si può ricavare una stima del modulo elastico dinamico E_D mediante la formula:

$$E_D = V^2 Q \frac{(1+n)(1-2n)}{1-n}$$

dove:

V= velocità degli impulsi ultrasonici (km/s)

Q= densità (kg/m^3)

n= rapporto di Poisson pari a 0,3

E_D = modulo elastico dinamico (MN/m^2)

6.6 Rottura a compressione dei campioni compattati con Proctor

Per questo tipo di prova si fa riferimento alla norma UNI EN 13286-41 la quale descrive il metodo per determinare la resistenza a compressione di provini di miscele legate con leganti idraulici, realizzati in laboratorio oppure a partire da carote.

Un provino è sottoposto a una forza di compressione fino alla rottura. Il carico massimo sostenuto dal provino è registrato e la resistenza a compressione è calcolata.

6.6.1 Apparecchiatura di prova

Macchina per prova di compressione. La precisione della macchina e l'indicazione del carico devono essere tali da riportare carico e misurazione con un'accuratezza di $\pm 1\%$.

La macchina deve avere due piastre di carico di acciaio con facce aventi una durezza Rockwell di almeno 55 HRC per una profondità di circa 5 mm. Le piastre di carico devono essere larghe almeno

quanto, e preferibilmente più larghe, le facce del provino cui il carico è applicato. La planarità superficiale delle piastre e delle superfici da cui sono supportate deve essere 0,03 mm o migliore.

La piastra superiore deve avere un alloggiamento sferico di dimensioni tali che la deformazione della piastra in condizioni di carico abituale non superi la tolleranza di planarità. La combinazione della piastra superiore e dell'alloggiamento sferico deve essere progettata per consentire il facile allineamento della piastra con il provino, ma in modo da diventare fissa all'aumentare della forza sul provino. L'alloggiamento deve avere il proprio centro sulla superficie della piastra, oppure in un punto la cui distanza dalle piastre è minore di 1mm. Il diametro dell'alloggiamento non deve essere maggiore di 150 mm.

6.6.2 Procedimento di prova

L'umidità in eccesso deve essere asciugata dalla superficie del provino prima del posizionamento nella macchina di prova.

Tutte le superfici portanti della macchina di prova devono essere pulite e l'eventuale graniglia sciolta o materiale estraneo devono essere rimossi dalle superfici del provino che saranno in contatto con le piastre o le piastre ausiliarie, se utilizzate.

Non deve essere utilizzato alcun materiale di riempimento tra il provino e le piastre o le piastre ausiliarie.

I provini cubici devono essere compressi perpendicolarmente a o nel senso della colata, e la direzione deve essere registrata.

Il provino deve essere centrato sulla piastra inferiore o sulla piastra ausiliaria con un'accuratezza dell'1% della dimensione nominale del cubo o del diametro dei provini cilindrici.

Al momento del contatto tra il provino e la piastra superiore, l'alloggiamento sferico deve essere regolato in modo da ottenere il contatto uniforme tra il provino e la piastra superiore.

Il caricamento deve essere applicato in modo continuo e uniforme senza sbalzi in modo che la rottura si verifichi da 30 s a 60 s dall'inizio del caricamento.

Quando si utilizzano macchine di prova a comando manuale e ci si avvicina alla rottura del provino, qualsiasi tendenza alla diminuzione della velocità di caricamento selezionata deve essere corretta mediante regolazione appropriata dei comandi.

Quando si utilizzano macchine di prova a controllo automatico, la velocità di caricamento deve essere periodicamente controllata per accertare che sia costante.

La forza massima sostenuta, F, deve essere registrata.

6.6.3 Espressione dei risultati

La resistenza a compressione, R_c , deve essere determinata con l'equazione:

$$R_c = \frac{F}{A_c}$$

Dove:

R_c è la resistenza a compressione del provino di miscele legate con leganti idraulici, in Newton per millimetro quadrato (N/mm^2);

F è la forza massima sostenuta dal provino di miscele legate con leganti idraulici, in Newton (N);

A_c è l'area della sezione trasversale del provino di miscele legate con leganti idraulici, in millimetri quadrati (mm^2).

Se le dimensioni effettive del provino sono entro $\pm 0,5$ % della dimensione designata, R_c deve essere calcolata utilizzando la dimensione designata. Se le dimensioni effettive sono al di fuori di questa tolleranza, il calcolo della resistenza deve basarsi sulle dimensioni effettive del provino.

6.7 Equivalente in sabbia

La norma UNI EN 933-8 descrive il metodo di riferimento da utilizzare per la determinazione del valore di equivalente in sabbia della frazione 0/2 mm negli aggregati fini o negli aggregati misti.

Negli altri casi, in particolare nel controllo di produzione in fabbrica, è possibile utilizzare metodi diversi purchè se ne stabilisca l'appropriata correlazione esecutiva con il metodo di riferimento.

6.7.1 Apparecchiature di prova

1) Soluzione concentrata composta da:

- Cloruro di calcio cristallino o anidro
- Glicerina, 99% glicerolo
- Soluzione di formaldeide, 40% in volume
- Acqua distillata o demineralizzata

Bisogna disciogliere 219 grammi di cloruro di calcio cristallino in 350 millilitri di acqua distillata, si lascia raffreddare a temperatura ambiente e, se necessario, si filtra attraverso carta filtrante di grado grosso o medio.

Si Aggiungono 480 grammi di glicerina e 12,5 grammi di soluzione di formaldeide, quindi si diluisce fino ad un litro di soluzione con acqua distillata e mescolare accuratamente.

2) Soluzione di lavaggio preparata diluendo 125 ml di soluzione concentrata fino a 5 litri utilizzando acqua distillata. Tale soluzione deve essere utilizzata entro 28 giorni dalla sua preparazione.

3) Due cilindri graduati, di vetro o plastica trasparente, completi di tappi di gomma aventi le seguenti dimensioni:

- Spessore parete circa 3 mm
- Diametro interno 32 mm
- Altezza 430 mm

Ciascun cilindro deve essere chiaramente marcato in due posizioni:

- a 100 mm dalla base
- a 380 mm dalla base

4) Gruppo stantuffo di prova, avente le parti immerse in metallo anticorrosivo e comprendente:

- un'asta lunga 440 mm
- un pezzo di testa avente diametro 25 mm, con superficie inferiore piatta, liscia e perpendicolare all'asse dell'asta e che includa tre guide sui lati per centrare lo stantuffo nel cilindro lasciando un piccolo gioco;
- un collare spesso 10 mm, adatto per l'uso con il cilindro graduato, agente come guida per l'asta e, contemporaneamente, utilizzato per indicare la distanza per cui lo stantuffo di prova è inserito nel cilindro. Il collare deve comprendere una vite che consenta di bloccarlo sull'asta dello stantuffo di prova ed inoltre deve avere una fessura entro cui far passare il righello;
- testa dello stantuffo, fissata all'estremità superiore dell'asta, in modo da dare al gruppo stantuffo di prova, escluso il collare, una massa totale di 1 kg.

5) Cronometro leggibile fino a 1 secondo.

6) Righello da 500 mm graduato in millimetri.

7) Setaccio di prova con aperture quadrate da 2 mm.

8) Tubo di lavaggio, comprendente un tubo rigido di metallo anticorrosione avente l'estremità inferiore conica sulla quale viene eseguito diametralmente su ciascuna faccia del cono un foro avente diametro pari ad 1 mm.

9) Recipiente di vetro o plastica, con capacità di 5 litri e dotato di sifone: la base di appoggio del contenitore deve trovarsi circa un metro sopra il tavolo di lavoro.

10) Tubo di plastica o gomma, lungo circa 1,5 metri, collegante il tubo di lavaggio al sifone.

11) Imbuto per trasferire la porzione di prova nel cilindro graduato

- 12) Macchina agitatrice, capace di imprimere al cilindro un movimento orizzontale, rettilineo, periodico e sinusoidale di intensità pari a 200 mm ad una frequenza di un terzo di secondo.
- 13) Termometro con precisione 1 °C
- 14) Bilancia con precisione dello 0,1 % della massa da pesare

6.7.2 Esecuzione della prova

Una porzione di prova di sabbia e una piccola quantità di soluzione flocculante vengono versati in un cilindro graduato tenuto in verticale e lasciati riposare per almeno 10 min. Al termine di tale periodo, si sigilla il cilindro utilizzando dei tappi di gomma e si fissa il cilindro nella macchina agitatrice per rimuovere il rivestimento argilloso dalle particelle di sabbia nella porzione di prova. La sabbia viene quindi "irrigata" utilizzando ulteriore soluzione flocculante che forzi le particelle fini in sospensione sulla sabbia. Dopo 20 min, il valore equivalente di sabbia (SE) viene calcolato come l'altezza del sedimento espressa come percentuale dell'altezza complessiva del materiale flocculato nel cilindro.

$$SE = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

CAPITOLO 7: Risultati delle prove e analisi

7.1 Analisi granulometrica

Questo tipo di prova è stato condotto per due campioni di materiale prelevati in luoghi differenti e più precisamente ad Auronzo di Cadore e a Lozzo di Cadore.

Da entrambi i campioni di materiale se ne preleva un certo quantitativo di peso pari a: $P_T = 2,5$ kg.

Per ognuno dei due campioni vengono effettuate le seguenti operazioni:

1) Si dispongono i crivelli UNI 2234, aventi le seguenti aperture in mm:

40 - 30 - 25 - 15 - 10 - 5

completi di coperchio e di fondo di raccolta, in colonna sul fondo di raccolta con i diametri di apertura crescenti dal basso verso l'alto, si versa il materiale sul crivello superiore della colonna, si provvede a coprirlo con il coperchio e si dà inizio alla crivellatura a mano.

2) Terminata la crivellatura si pesa il materiale raccolto nel fondo che rappresenta il passante al crivello da 5 mm di apertura e lo si indica con P_5 che risulta essere pari, rispettivamente per Auronzo e Lozzo, a: $P_5 = 623$ g e $P_5 = 682$ g. A questo peso si aggiunge il peso del materiale trattenuto sul crivello da 5 mm: l'insieme rappresenta cumulativamente il peso del passante al crivello da 10 mm e lo si indica con P_{10} che risulta essere pari, rispettivamente per Auronzo e Lozzo, a: $P_{10} = 965$ g e $P_{10} = 1699$ g.



Figura 72: Trattenuto crivello 5mm-Auronzo

Aggiungendo successivamente i pesi dei materiali trattenuti su ciascun crivello, procedendo verso l'alto, si ottengono i pesi dei passanti ai vari crivelli della serie:

siano P_5, \dots, P_{40} tali pesi.

3) Il materiale raccolto nel fondo viene sottoposto a setacciatura. Si procede quindi alla setacciatura del materiale passante al crivello da 5 mm.

Si eseguono le stesse operazioni descritte precedentemente con la sola differenza che si impiegano i setacci anziché i crivelli. Si dispongono quindi i setacci UNI 2332, aventi le seguenti aperture in mm:

2 - 0,4 - 0,18 - 0,075

completi di coperchio e di fondo di raccolta, in colonna sul fondo di raccolta con i diametri di apertura crescenti dal basso verso l'alto, si versa il materiale sul crivello superiore della colonna, si provvede a coprirlo con il coperchio e si dà inizio alla crivellatura a mano.



Figura 73: Trattenuto passante 2mm- Lozzo

4) Ad operazione ultimata si conoscono i pesi P_2 , $P_{0,4}$, $P_{0,18}$, $P_{0,075}$, della porzione di materiale proveniente crivello da 5 mm.

5) Le percentuali di passante ai singoli crivelli o setacci si ottengono come rapporto tra il peso del passante ed il peso P_T del provino (tabella 12).

LOZZO DI CADORE

Φ setaccio/crivello [mm]	peso [g]	passante [%]
40	69	97,24
30	53	95,12
25	83	91,8
15	380	76,6
10	221	67,76
5	1017	27,08
2	285	15,68
0,4	324	2,72
0,18	40	1,12
0,075	22	0,24
trattenuto	11	

AURONZO DI CADORE

Φ setaccio/crivello [mm]	peso [g]	passante [%]
40	517	79,32
30	262	68,84
25	117	64,16
15	420	47,36
10	215	38,76
5	342	25,08
2	257	14,8
0,4	278	3,68
0,18	63	1,16
0,075	25	0,16

Tabella 12: Percentuali di passante ai singoli setacci

6) I risultati vengono poi riportati sotto forma di diagramma. Nel diagramma sono riportati nelle ordinate, in scala aritmetica, le percentuali di passante; nelle ascisse, in scala logaritmica, le aperture dei crivelli e dei setacci.

I risultati vengono comparati con i valori riferiti al fuso granulometrico (nel grafico 1 e nel grafico 2 la curva di colore blu rappresenta la curva minima del fuso e la curva di colore rosso che rappresenta la curva massima del fuso) che rappresentano i requisiti di accettazione degli inerti.

Il fuso granulometrico è stato preso dal capitolato speciale d'appalto per la costruzione di infrastrutture di trasporto del CIRS (tabella 13).

Serie crivelli e setacci UNI		passante % totale in peso	
Crivello	40	100	100
Crivello	30	-	-
Crivello	25	65	100
Crivello	15	45	78
Crivello	10	35	68
Crivello	5	23	53
Setaccio	2	14	40
Setaccio	0,4	6	23
Setaccio	0,18	2	15
Setaccio	0,075		

Tabella 13: capitolato speciale d'appalto per la costruzione di infrastrutture di trasporto del CIRS

Dai grafici sottostanti risulta che entrambe le curve dei terreni rientrano per la maggior parte nel fuso di riferimento: i campioni di terreno soddisfano quindi i requisiti richiesti per una miscela di materiale da utilizzare per la creazione di uno strato di fondazione (legato o non legato a cemento).

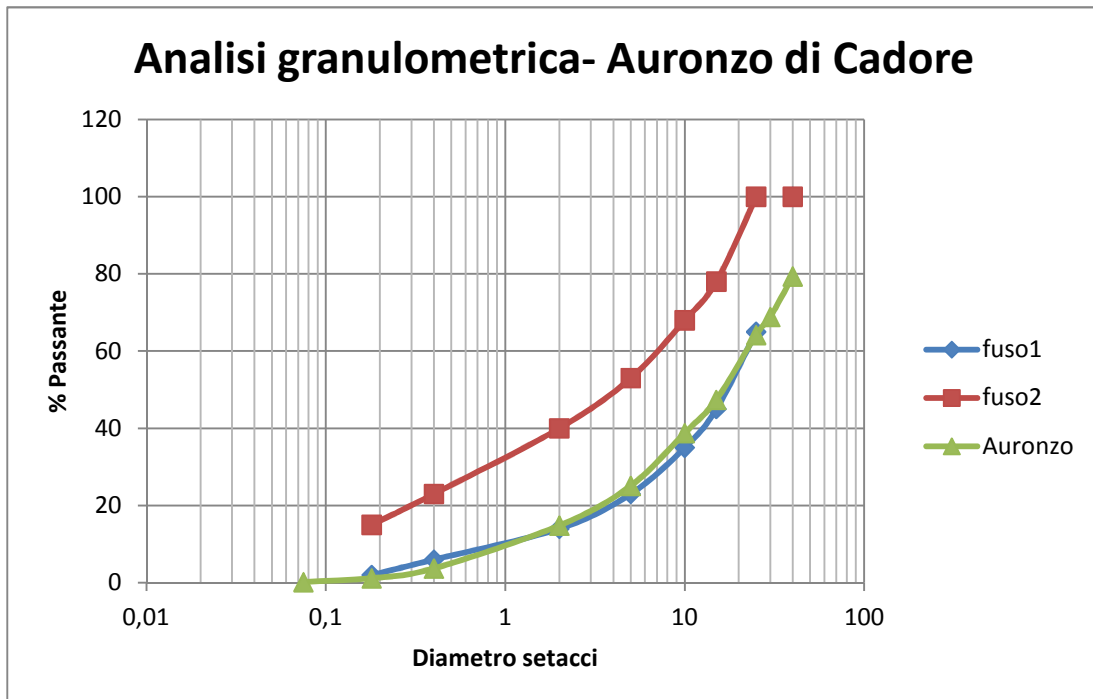


Grafico 2: Analisi granulometrica Auronzo di Cadore

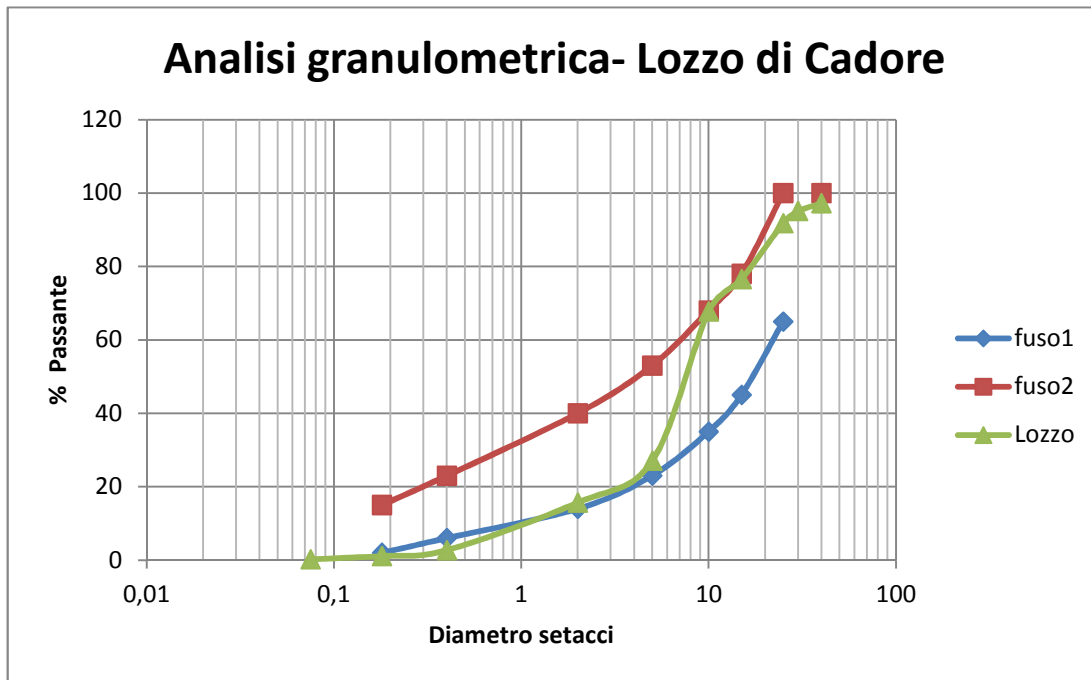


Grafico 3: Analisi granulometrica Lozzo di Cadore

7.2 Limiti di Atterberg

L'analisi granulometrica permette di ottenere valutazioni quantitative per quanto riguarda le dimensioni delle particelle componenti un terreno, ma non dà alcuna informazione sulle caratteristiche dei materiali di argilla che nel caso dei materiali coesivi rivestono una importanza prevalente e ne influenzano il comportamento fisico-meccanico.

Quest'ultimo, nel caso delle argille, è strettamente legato alla presenza di acqua, che viene assorbita dalle singole particelle, creando legami più o meno saldi.

Quando si aggiunge una certa quantità d'acqua ad un terreno argilloso essiccato, viene a crearsi una sottile pellicola d'acqua assorbita intorno alla singola particella. Al crescere della quantità d'acqua si ottiene una pellicola di spessore maggiore, che ad un certo punto permette alle particelle di scorrere reciprocamente.

Il comportamento del terreno è dunque influenzato dalla quantità d'acqua presente nel sistema.

È per questo motivo che vengono calcolati i quattro limiti di consistenza, introdotti dall'agronomo A. Atterberg nel 1911; tali limiti si basano sul concetto che un terreno argilloso può esistere in uno dei quattro stati seguenti, in funzione del suo contenuto d'acqua:

- Stato liquido
- Stato plastico
- Stato semisolido
- Stato solido

I contenuti d'acqua corrispondenti ai limiti di separazione tra due stati contigui sono appunto i Limiti di Atterberg.

Nel caso di studio in esame ne verranno calcolati: il limite liquido, il limite plastico e l'indice di plasticità.

7.2.1 Limite dello stato liquido w_L di una terra

Il limite liquido è il minimo contenuto d'acqua per il quale il terreno scorre per effetto di una piccola pressione (dell'ordine di 2÷3kPa) e si comporta come un fluido viscoso.

Dai materiali prelevati dai comuni di Lozzo e Auronzo se n'è rispettivamente estratta una certa quantità a cui sono state aggiunte delle piccole quantità di acqua distillata; il composto è stato poi mescolato per distribuire nella miglior maniera possibile l'acqua in tutta la terra.



Figura 74: Materiale passante al setaccio da 0,475 mm (Auronzo e Lozzo)

Il campione è stato successivamente diviso in quattro parti uguali; si è posta una di queste nel cucchiaio di Casagrande ed è stata successivamente lisciata con la spatola. A questo punto è stato tracciato un solco con l'utensile dall'alto verso il basso.



Figura 75: Cucchiaio di Casagrande

Successivamente, ruotando la manovella, si sono applicati dei colpi necessari per chiudere il solco; una volta verificato ciò è stato estratto un piccolo quantitativo di materiale dal centro della colpa e se ne è determinata l'umidità.

Tali operazioni sono state effettuate per le quattro parti uguali del campione ma con contenuti di acqua crescenti.

Limite Liquido								
Sigla	t = TARA [g]	t + Materiale Umido [g]	t + Materiale secco [g]	Materiale Umido [g]	Materiale secco [g]	Acqua [g]	Acqua [%]	N° colpi
A	63,223	65,517	64,640	2,294	1,417	0,877	38,23%	39
6	57,703	60,364	59,35	2,661	1,647	1,014	38,11%	23
7	67,163	69,545	68,651	2,382	1,488	0,894	37,53%	29
M	65,933	69,34	68,003	3,407	2,070	1,337	39,24%	16

Tabella 14: Determinazione limite liquido Comune di Lozzo

Sigla	t = TARA [g]	t + Materiale Umido [g]	t + Materiale secco [g]	Materiale Umido [g]	Materiale secco [g]	Acqua [g]	Acqua [%]	N° colpi
A	64,046	67,717	66,893	3,671	2,847	0,824	22,45%	14
6	63,36	67,426	66,546	4,066	3,186	0,880	21,64%	16
7	62,577	65,746	65,126	3,169	2,549	0,620	19,56%	40
M	87,517	90,43	89,851	2,913	2,334	0,579	19,88%	38

Tabella 15: Determinazione limite liquido Comune di Auronzo

I risultati sono stati riportati in un diagramma semi-logarimico avente in scala lineare le umidità ed in scala logaritmica i numeri di colpi, e sono state tracciate le rette passanti per questi punti.

Leggendo su tali rette il valore di umidità corrispondente a 25 colpi si determina il limite dello stato liquido che risultano essere rispettivamente per Lozzo e per Auronzo: $w_L=38\%$ e $w_L = 21\%$.

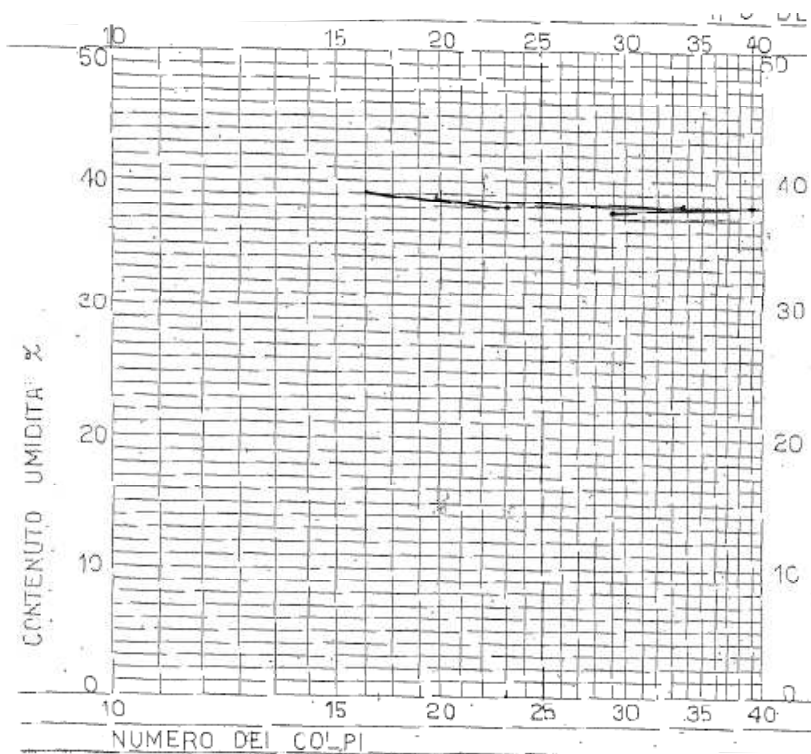


Figura 76: Diagramma del limite liquido Comune di Lozzo

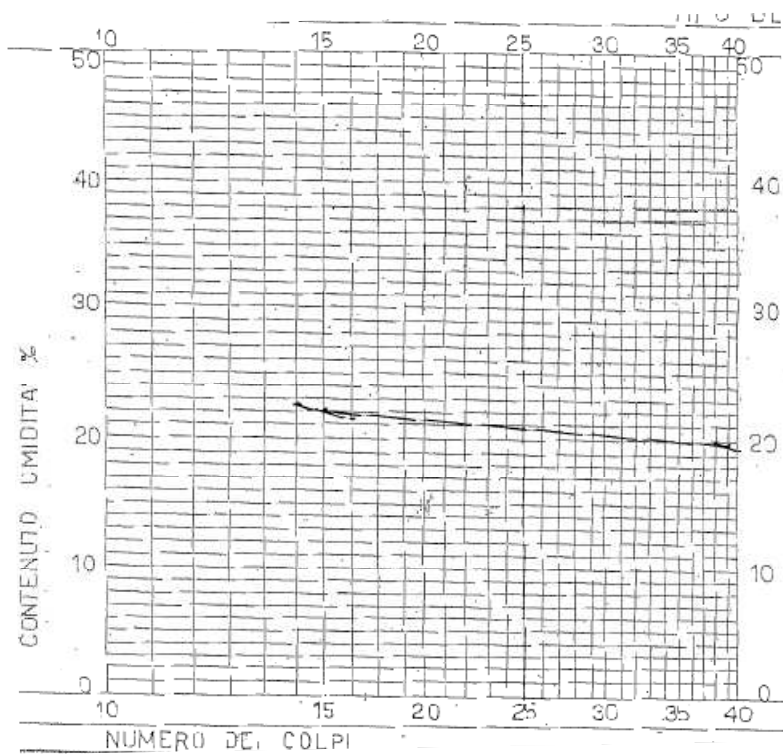


Figura 77: Diagramma del limite liquido Comune di Auronzo di Cadore

7.2.2 Limite dello stato plastico w_p di una terra

Il limite plastico è il minimo contenuto d'acqua per il quale il terreno può essere deformato plasticamente senza frantumarsi.

Per i due Comuni è stato prelevato e rimescolato un certo quantitativo di terra con il quale si è formata una pallina all'incirca sferica. Questa è stata posta sul piano di prova e mediante lieve compressione e rullatura con le dita di una mano è stata ridotta ad un cilindretto del diametro di 3mm. La prova è stata ripetuta due volte finché il cilindretto, essiccandosi per effetto delle successive manipolazioni, si è sbriciolato non appena raggiunto il diametro di 3 mm. Si è raccolta la terra così sbriciolata e se n'è determinata il limite dello stato plastico come media delle due determinazioni.

Sigla	t = TARA [g]	t + Materiale Umido [g]	t + Materiale secco [g]	Materiale Umido [g]	Materiale secco [g]	Acqua [g]	Acqua [%]
A	63,58	64,12	63,899	0,540	0,319	0,221	40,93%
6	41,215	41,687	41,506	0,472	0,291	0,181	38,35%

Tabella 16: Determinazione limite plastico Comune di Lozzo

Sigla	t = TARA [g]	t + Materiale Umido [g]	t + Materiale secco [g]	Materiale Umido [g]	Materiale secco [g]	Acqua [g]	Acqua [%]
A	41,216	41,589	41,514	0,373	0,298	0,075	20,11%
6	62,358	62,844	62,732	0,486	0,374	0,112	23,05%

Tabella 17: Determinazione limite plastico Comune di Auronzo

I valori rispettivamente per il Comune di Lozzo e per il Comune di Auronzo sono: $w_p = 40\%$ e $w_p = 22\%$

7.2.3 6.2.3 Indice di plasticità

L'indice di plasticità è dato dalla differenza $w_L - w_p$ che risulta essere per entrambi i Comuni pari a: $I_p = 0$

7.3 Masse volumiche

Con riferimento alle norme CNR 62, CNR 63 e CNR 64 è stata determinata la massa volumica reale, apparente e quella apparente non addensata.

7.3.1. CNR 62

Lo scopo della prova è determinare il valore della massa volumica in mucchio di aggregati non addensati.

La prova si applica agli aggregati naturali ed artificiali aventi dimensioni massime di 63 mm, secondo quanto espresso dalla norma UNI EN 1097-3.

Ai sensi di tale norma, la massa volumica si determina pesando la massa degli aggregati, precedentemente essiccati, contenuti in uno specifico recipiente.

Il campione è stato, precedentemente, essiccato in forno ad una temperatura di 110 °C sino ad ottenere la massa costante del campione ovvero quella che a pesate successive con intervallo temporale pari ad un'ora non differisce più dello 0,1%.

Terminato l'essiccamento si è proceduto alla quartatura, cioè si è mescolato il campione con la sessola ammucchiandolo a formare un cono e rovesciandolo a formare un altro cono; si è ripetuta l'operazione tre volte.

Nel formare i coni, si posa ogni sessola riempita sulla sommità del nuovo cono, in modo tale che l'aggregato scenda da tutti lati del cono e sia uniformemente distribuito e le varie granulometrie si mescolino adeguatamente.

Il terzo cono ottenuto è stato appiattito battendo più volte con la sessola sino a formare un mucchietto piatto che abbia diametro e spessore uniformi, questo è stato diviso in quarti lungo le diagonali intersecatesi ad angolo retto e si sono riunite poi due quarti opposti che sono state utilizzate per l'esecuzione della prova.

Si proceduto quindi pesando il recipiente volumetrico vuoto, asciutto e pulito registrandone la massa m_1 .

Il recipiente è stato posto su una superficie orizzontale e riempito fino all'orlo livellandone con cura la superficie.

Il recipiente pieno è stato pesato determinandone e registrandone la massa m_2 .

Attraverso la formula sotto riportata è stato possibile calcolare la massa volumica non addensata:

$$\gamma = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

Si è così determinato un valore pari a 1,02 g/cm³ per il terreno prelevato a Lozzo di Cadore e un valore pari a 1,1 g/cm³ per il campione prelevato ad Auronzo di Cadore.

7.3.2. CNR 63

Lo scopo della prova è determinare la massa volumica apparente degli aggregati applicando i seguenti metodi di prova:

1. metodo della bilancia idrostatica con cestello a rete per aggregati trattenuti al setaccio da 10 mm
2. metodo con picnometro per aggregati passanti al crivello da 10 mm.

La prova per i materiali parzialmente passanti al crivello da 10 mm non è stata effettuata.

7.3.2.1 Materiali totalmente passanti al crivello da 10 mm (metodo del picnometro)

Innanzitutto è stato necessario prelevare una porzione di 500 g dal campione originario di prova. Tale materiale è stato essiccato in stufa a 110 °C e successivamente lo si è lasciato raffreddare; il procedimento è stato ripetuto sino al raggiungimento della massa costante del provino.

Il materiale è stato pesato con precisione di 0,1 grammi e inserito quindi nel picnometro ove poi si è versata dell'acqua in quantità tale da sommergere il materiale e riempire il picnometro stesso per metà.

Il materiale è stato lasciato in immersione per 4 ore circa e si è poi estratta l'aria contenuta nell'acqua e nei granuli dell' aggregato.

Il contenuto del picnometro è stato sottoposto per 20 minuti ad un vuoto parziale, ossia ad aria avente una pressione inferiore a 13,33 kPa, avendo cura di agitare frequentemente il recipiente.

Il contenuto del picnometro è stato poi fatto bollire per 20 minuti il contenuto del picnometro e successivamente è stato fatto raffreddare a temperatura ambiente per almeno 6 ore; quindi si è proceduto a versare altra acqua a temperatura ambiente fino a raggiungere con la superficie inferiore del menisco, la linea di fede del picnometro.

Dopo che il picnometro è stato asciugato esternamente e internamente fino alla linea di fede lo si è pesato registrandone il peso (p_2) in grammi ed ne è stata determinata, mediante termometro, la temperatura (t) con precisione di 0,5 °C.

Quindi si è proceduto vuotando il picnometro e riempiendolo con altra acqua avente temperatura pari a quella registrata in precedenza, fino a raggiungere, con la superficie inferiore del menisco, la linea di fede del picnometro; quindi lo si è asciugato accuratamente e lo si è pesato registrando il peso (p_1) in grammi.

Si è proceduto quindi al calcolo della massa volumica apparente mediante la seguente formula:

$$\gamma_g = \frac{p}{p - p_2 + p_1} \gamma_w$$

I valori registrati durante la prova e quelli ottenuti applicando la formula soprastante sono riportati nella tabella 18:

	LOZZO	AURONZO
p (g)	303	315,6
p_1 (g)	1103,7	1103,7
p_2 (g)	1292,3	1289,5
γ_w (g/cm ³)	0,9976	0,9976
γ_g (g/cm ³)	2,64	2,43

Tabella 18: Valori registrati durante la prova

7.3.2.2 Materiali totalmente trattenuti al crivello da 10 mm (metodo della bilancia idrostatica)

È stata prelevata una porzione di materiale dal campione originario, la si è lavata sul crivello da 10 mm e la si è riposta in uno dei cestelli.

Il cestello è stato introdotto nel recipiente e lo si è riempito, quest'ultimo, con acqua fino a coprire completamente materiale e cestello per circa 2 cm.

Il materiale è stato lasciato in acqua per 4 ore muovendolo frequentemente per estrarre l'acqua contenuta tra i granuli dell' aggregato.

Terminate le 4 ore il cestello con il materiale in esso contenuto è stato pesato e se n'è registrato il peso (p_4) in grammi; si è registrata anche la temperatura dell'acqua con una precisione di 0,5 °C; quindi si è vuotato il recipiente e lo si è riempito con acqua avente temperatura pari a quella precedentemente letta fino a coprire completamente materiale e cestello per circa 2 cm.

Si è pesato il cestello e se n'è riportato il peso (p_5) in grammi.

Si è terminata la procedura di prova essiccando il materiale in stufa a 110 °C sino ad ottenere la massa costante e registrandone il peso (p_3).

I risultati sono stati ottenuti inserendo i valori ricavati nella seguente formula:

$$\gamma_g = \frac{p_3}{p_3 - p_4 + p_5} \gamma_w$$

I valori registrati durante la prova e quelli ottenuti applicando la formula soprastante sono riportati nella tabella 19:

	LOZZO	AURONZO
p_3 (g)	160,3	645,2
p_4 (g)	552,4	869,5
p_5 (g)	527,8	527,8
γ_w (g/cm ³)	0,9976	0,9976
γ_g (g/cm ³)	1,18	2,12

Tabella 19: Valori registrati durante la prova e ottenuti dalla formula

Una volta determinati i valori della massa volumica apparente attraverso il metodo del picnometro e della bilancia idrostatica si può determinare il valore della massa volumica dei granuli attraverso la formula:

$$\gamma_g = \frac{Na \gamma_{ga} + Nb \gamma_{gb}}{100}$$

I valori, rispettivamente per il Comune di Lozzo e per quello di Auronzo di Cadore sono: $\gamma_g = 2,14$ g/cm³ e $\gamma_g = 2,22$ g/cm³.

7.3.3. CNR 64

Con questa prova si determina la massa volumica reale dei granuli di un aggregato è la massa di un volume unitario del materiale solido, esclusi i pori esistenti all'interno dei granuli.

Tale massa volumica è espressa dal rapporto tra il peso del campione di prova, opportunamente essiccato, ed il suo volume, determinato alla temperatura di prova di 20 °C su un campione di 30-50 g di materiale ridotto in polvere che non lascia residuo sul setaccio UNI 2332 da 0,2 mm e seccato in forno alla temperatura di 110 °C.

Dopo aver prelevato dal campione di prova una opportuna porzione, la si è posta nella stufa per essicarla alla temperatura di 110 °C fino al raggiungimento della massa costante.

Si considera costante la massa quando tra due pesate successive, realizzate con un intervallo di due ore, non si rilevano variazioni superiori a 1/1000 della massa della porzione di prova.

Si è proceduto alla frantumazione e riduzione in polvere della stessa per poi setacciarla col setaccio da 0,2 mm ed è stato raccolto il materiale passante.

Si è prelevata una quantità di tale materiale avente massa compresa tra i 30 e i 50 g e se ne è registrato il peso p.

Dopo aver scelto il volumometro da utilizzare per la prova, lo si è riempito di acqua e lo si è pesato, riportando così il peso iniziale, p_2 , espresso in grammi.

Si è poi versato nel volumometro la massa in polvere P_1 , eliminando delle eventuali bolle d'aria presenti nella polvere, attraverso agitazione della stessa con l'ausilio di pallini di vetro ed ebollizione prolungata della polvere.

Il tutto è stato poi lasciato riposare sino ad ottenere la temperatura di prova di 20 °C, quindi si è pesato il volumometro contenente la massa in polvere versata e se ne registra il peso, p_1 , espresso in grammi.

Il peso specifico reale γ_r espresso in g/cm^3 , è stato calcolato con la seguente formula (già descritta nel capitolo 6 al punto 6.3.3.5):

$$\gamma_r = \frac{p}{p + p_2 - p_1} \gamma_w$$

I risultati ottenuti dai campioni di terreno prelevati a Lozzo di Cadore e ad Auronzo di Cadore sono riassunti nella tabella 20:

	LOZZO	AURONZO
P	24,3	39,3
p_2	673,6	674,9
p_1	688,9	700,4
γ_w	0,9976	0,9976
γ_r	2,69	2,84

Tabella 20: Risultati campioni prelevati

Le masse volumiche dei campioni indicano che entrambe le terre hanno lo stesso tipo di peso specifico e che si classificano tra gli aggregati di tipo calcareo e le terre utilizzate nel campo delle costruzioni stradali/ferroviarie.

7.4 Prova Proctor



Figura 78:
Macchina per la
prova Proctor

È stata prelevata una quantità pari a 6 kg, passanti al setaccio da 25 mm, rispettivamente dal materiale proveniente da Auronzo e da quello proveniente da Lozzo.

Per questa prova sono stati preparati tre provini, due per il materiale proveniente da Auronzo e uno per quello proveniente da Lozzo. In tutti e tre è stata aggiunta una quantità di acqua, pari al 4%, in modo che i provini quando costipati occupino un pò più di un terzo dell'altezza del corpo dello stampo; inoltre in uno dei due provini di Auronzo è stato anche aggiunto il 4 % di cemento.

Si pongono i provini, uno alla volta all'interno della macchina, e si applicano 56 colpi con un pestello di 2,5 kg (A) lasciandolo cadere da un'altezza di 305 mm al di sopra della miscela con controllo della guida.

Si ripete cinque volte questa operazione le prime tre aggiungendo materiale in modo che la quantità di miscela utilizzata sia sufficiente per riempire il corpo dello stampo sino ad avere la superficie sporgente non oltre 10 mm il bordo superiore del corpo dello stampo e le ultime due senza aggiunta di materiale.

Terminati i 5 cicli si rimuove la prolunga, si raso l'eccesso di miscela livellando accuratamente la superficie della miscela costipata pari al bordo superiore dello stampo utilizzando la riga metallica.



Figura 79: Provino



Figura 80: Provino



Figura 81: Provino

Il materiale è stato fatto essiccare per una settimana. Successivamente per ogni provino sono state misurate le seguenti grandezze: altezze e diametri (tabella 21).

AURONZO

AURONZO (con aggiunta
di cemento)

LOZZO

ALTEZZE		
h ₁	126,50	mm
h ₂	125,97	mm
h ₃	125,93	mm
h ₄	126,41	mm
h _{MEDIA}	126,20	mm

ALTEZZE		
h ₁	128,17	mm
h ₂	128,63	mm
h ₃	126,94	mm
h ₄	127,52	mm
h _{MEDIA}	127,82	mm

ALTEZZE		
h ₁	112,42	mm
h ₂	111,72	mm
h ₃	112,08	mm
h ₄	110,21	mm
h _{MEDIA}	111,61	mm

DIAMETRI		
D ₁	151,37	mm
D ₂	153,29	mm
D ₃	150,65	mm
D ₄	153,14	mm
D _{MEDIO}	152,11	mm

DIAMETRI		
D ₁	151,65	mm
D ₂	152,36	mm
D ₃	151,88	mm
D ₄	151,72	mm
D _{MEDIO}	151,90	mm

DIAMETRI		
D ₁	150,64	mm
D ₂	152,01	mm
D ₃	152,25	mm
D ₄	152,53	mm
D _{MEDIO}	151,86	mm

PESO	4821,2	g
------	--------	---

PESO	4821,2	g
------	--------	---

PESO	4821,2	g
------	--------	---

Tabella 21: Altezze e diametri provini

7.5 Misura del modulo elastico attraverso strumento ad ultrasuoni

Attraverso lo strumento ad ultrasuoni è stato determinato il modulo elastico dinamico dei tre provini. La misura della velocità degli impulsi è stata ottenuta mediante trasmissione diretta cioè i trasduttori sono stati posizionati sulle due facce opposte di ogni singolo provino. Prima di effettuare le misurazioni è stato spalmato un leggero strato di pasta di contatto sulle facce delle due sonde; è stata poi applicata una pressione sulle sonde.



Figura 82: Trasmissione diretta

Per queste trasmissioni la velocità degli impulsi ultrasonici è stata calcolata con la seguente formula:

$$V = \frac{L}{T}$$

I valori dei tempi di transito e delle velocità degli impulsi per i tre provini sono riportati nella tabella 22:

LOZZO		AURONZO (con aggiunta di cemento)		AURONZO	
TEMPO DI TRANSITO (microsecondi)		TEMPO DI TRANSITO (microsecondi)		TEMPO DI TRANSITO (microsecondi)	
1	235	1	282	1	231,4
2	234	2	275	2	231
3	237	3	281	3	229,9
MEDIA	235	MEDIA	279	MEDIA	230,77
VELOCITA' DEGLI IMPULSI (Km/s)		VELOCITA' DEGLI IMPULSI (Km/s)		VELOCITA' DEGLI IMPULSI (Km/s)	
0,47		0,46		0,55	

Tabella 22: Valori tempi di transito e velocità degli impulsi per i tre provini

Dalla misura della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici poi si è ricavato il modulo elastico dinamico E_D mediante la formula:

$$E_D = V^2 Q \frac{(1+n)(1-2n)}{1-n}$$

Tale valore risulta, rispettivamente per i provini di Lozzo, Auronzo (con aggiunta di cemento) e Auronzo, pari a: $E_D = 410,76 \text{ MN/m}^2$, $E_D = 384,65 \text{ MN/m}^2$, $E_D = 538,91 \text{ MN/m}^2$.

7.6 Rottura a compressione dei campioni compattati con Proctor



Figura 83: Macchina per la rottura del provino

Dopo aver calcolato il modulo elastico dinamico i provini sono stati sottoposti alla prova di compressione fino alla rottura e ne è stata di conseguenza calcolata la resistenza corrispondente.

I provini sono stati posti, uno dopo l'altro, al centro della piastra inferiore della macchina e successivamente si è regolata la piastra superiore in modo che essa fosse a contatto con il provino.

La prova è stata condotta applicando in modo continuo e uniforme il carico e una volta verificatasi la rottura sono state registrate le corrispondenti forze di rottura e le resistenze a compressione dei tre provini attraverso la formula

$$(già descritta al punto 6.6.3): R_C = \frac{F}{A_c}$$



Figura 84: Rottura provino Lozzo Auronzo



Figura 85: Rottura provino Auronzo

I risultati ottenuti rispettivamente per i materiali provenienti da Lozzo, Auronzo (con l'aggiunta di cemento) e Auronzo sono riportati nella tabella 23:

	LOZZO	AURONZO (con l'aggiunta di cemento)	AURONZO
AREA [mm ²]	18111,83	18122,57	18172,71
COMPRESSIONE [Kg]	2850	2680	1750
R _C [N/mm ²]	1,54	1,45	0,94

Tabella 23: Risultati dei materiali campionati

Dai dati riportati si può dedurre che il campione proveniente dal comune di Lozzo di Cadore possiede una resistenza a compressione molto maggiore di quella del campione prelevato dal comune di Auronzo di Cadore. Solo l'aggiunta di un certo quantitativo di cemento migliora le prestazioni del terreno presente ad Auronzo di Cadore. I valori di resistenza a compressione sono stati confrontati con quanto indicato nel Capitolato Speciale d'Appalto del CIRS (centro sperimentale interuniversitario di ricerca stradale) per la costruzione di infrastrutture stradali.

Il terreno presente a Lozzo di Cadore è un terreno composto da parti di argille (in sommità) e da parti di roccia (soprattutto Dolomia). Secondo il capitolato CIRS il terreno di Lozzo è idoneo per la costruzione

di strati di fondazione in misto granulare non legato. Il valore di resistenza a compressione per tale terreno rientra nel range richiesto per strati di fondazione (legato e non legato) per infrastrutture ferroviarie.

Il terreno presente ad Auronzo di Cadore è invece un materiale di tipo alluvionale: contiene prevalentemente diverse pezzature di ciottoli calcarei arrotondati (anche se la loro forma non è quella privilegiata per la costruzione di fondazioni) e argille. Il valore di resistenza a compressione è infatti piuttosto basso tale da non consentire la posa del ballast al di sopra del terreno. Per tal motivo si è deciso di aggiungere il 4% di cemento ipotizzando di creare uno strato di fondazione in misto granulare legato: il valore di resistenza a compressione di questo campione rientra perfettamente nel range richiesto per strati di fondazione (legato e non legato) per infrastrutture ferroviarie.

7.7 Equivalente in sabbia

Ai fini della prova una porzione di prova di sabbia e una piccola quantità di soluzione flocculante vengono sono stati versati in un cilindro graduato e poi sono stati agitati per rimuovere il rivestimento argilloso dalle particelle di sabbia nella porzione di prova.

La sabbia è stata irrigata utilizzando ulteriore soluzione flocculante che forzi le particelle fini in sospensione sulla sabbia.

Dopo venti minuti, il valore equivalente di sabbia (SE) è stato calcolato come l'altezza del sedimento espressa come percentuale dell'altezza complessiva del materiale flocculato nel cilindro.

La prova si applica agli aggregati naturali, secondo quanto espresso dalla norma di riferimento: UNI EN 933-8, ricordando che gli aggregati sono classificati dalla UNI EN 12620 come da tabella 24:

AGGREGATO	DIMENSIONE
Grosso	$d > 2 \text{ mm}$ e $D > 11,2 \text{ mm}$
Fine	$D < 4 \text{ mm}$ e $d = 0 \text{ mm}$
Naturale 0/8	$D = 8 \text{ mm}$ e $d = 0 \text{ mm}$
Misto	$D < 45 \text{ mm}$ e $d = 0$

Tabella 24: Classificazione aggregati

Mediante setaccio sono stati ricavati dal campione originario due campioni di prova di cui si registrano le masse; quindi si è sifonata la soluzione di lavaggio dentro ciascun cilindro graduato, fino a raggiungere il cerchio di riferimento inferiore del cilindro.

Si è versato, aiutandosi con l'imbuto, un campione di prova in ciascun cilindro graduato tenendolo in posizione verticale e si è battuto ripetutamente col palmo della mano sul fondo del cilindro per eliminare le bolle d'aria e facilitare l'inumidimento del campione di prova.

Ciascun cilindro è stato lasciato riposare per almeno 10 minuti per far impregnare bene il campione di prova; trascorso tale lasso temporale ciascun cilindro è stato tappato e posizionato sulla macchina agitatrice.



Figura 30: Macchina agitatrice

Agitato il cilindro per 30 secondi lo si è riposto sul banco di prova in posizione verticale, si è tolto il tappo di gomma e lo si risciacqua rimanendo sopra il cilindro, utilizzando la soluzione di lavaggio e assicurandosi che tutto il materiale ritorni nel cilindro.

Fatto ciò, si è proceduto inserendo il tubo di lavaggio nel cilindro risciacquando prima le pareti del cilindro e poi spingendolo giù attraverso il sedimento sul fondo dello stesso

inducendo i componenti fini ed argillosi a salire verso l'alto.

Quindi mantenendo il cilindro in posizione verticale lo si è sottoposto ad un lento movimento circolare e contemporaneamente si è alzato lentamente il tubo di lavaggio riempiendo il cilindro sino al riferimento superiore.

I cilindri vanno sono stati lasciati riposare per 20 minuti, trascorso tale periodo, usando il righello si sono determinate la misura dell'altezza h_1 del livello superiore del flocculato in relazione alla base del cilindro (figura 87), si è abbassato poi il gruppo stantuffo nel cilindro fino a che il pezzo di testa si appoggi sul sedimento, si è posizionato il collare sulla cima del cilindro e lo si è bloccato sull'asta dello stantuffo (figura 88).

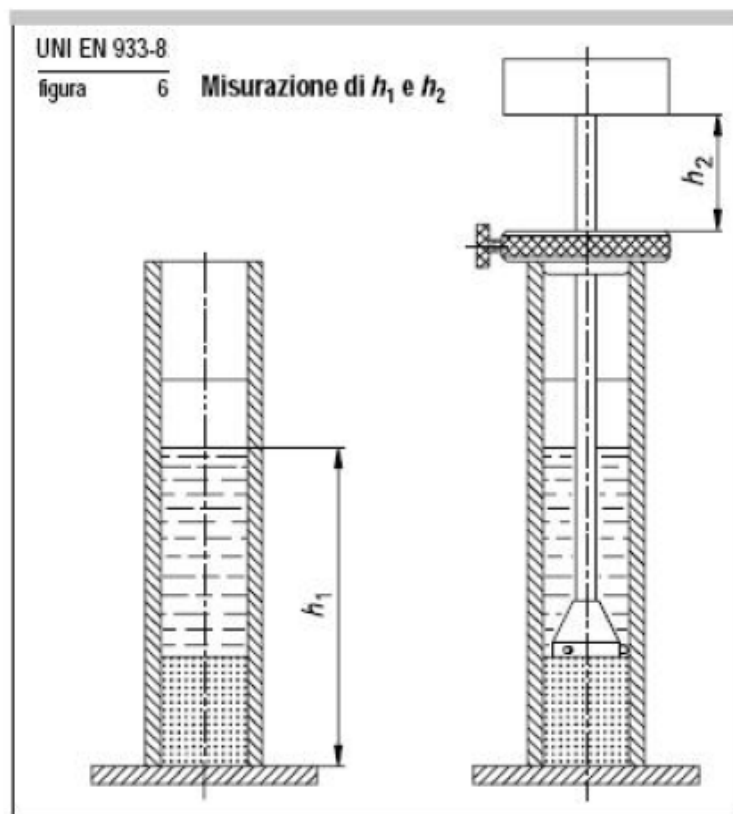


Figura 87: Cilindro



Figura 88: Asta

A questo punto si è misurata l'altezza del sedimento h_2 ovvero la distanza tra la faccia inferiore della testa dello stantuffo e la faccia superiore del collare utilizzando il righello graduato inserito nella fessura del collare.

Registrati i valori h_1 e h_2 si calcola per ciascun cilindro l'equivalente in sabbia SE mediante la seguente formula:

$$SE = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

Se i due valori differiscono di oltre 4 unità il procedimento di prova deve essere ripetuto, altrimenti si può esprimere il valore dell'equivalente in sabbia, SE, come media dei due valori individuati.

I risultati ottenuti secondo il procedimento descritto sono riportati in tabella 25:

	AURONZO 1	AURONZO 2	LOZZO 1	LOZZO 2
h_1 (mm)	32,0	30,0	18,8	20,0
h_2 (mm)	4,0	5,0	1,6	2,0
SE [%]	12,5	16,6	8,5	10

Tabella 25: Risultati prova

Si ricava quindi un valore dell'equivalente in sabbia per il materiale prelevato ad Auronzo di Cadore pari a 14,6 % e per il materiale prelevato a Lozzo di Cadore pari a 9,3 %.

Da questa prova si evince che la materiale prelevato dal comune “Auronzo di Cadore” è meno ricco di fini rispetto al materiale prelevato dal comune di “Lozzo di Cadore”. Entrambi comunque possiedono una quantità di materiale fino molto elevata, se paragonato con un calcare che presenta mediamente un’indice di equivalente in sabbia pari al 60%.

Conclusioni

Un collegamento ferroviario tra Calalzo di Cadore e Auronzo di Cadore consentirebbe di rispondere ad alcune esigenze funzionali quali:

- migliorare il collegamento tra i comuni dell'area cadorina;
- attivare nuovi circuiti turistici da integrare con quelli già esistenti e che investono le aree vicine;
- creare un'alternativa agli investimenti del settore stradale nell'area dolomitica, sempre più osteggiati dalle popolazioni locali, in quanto trasformano le zone attraversate in zone di transito per flussi turistici e merci, con effetti deleteri sui quadri ambientali e di vita locali senza nel contempo comportare sostanziali vantaggi socio-economici;
- favorire il sistema plurimodale di traffico ferro-gomma sia per le merci che per le persone.

Questa nuova tratta ferroviaria, infatti, il cui sviluppo è di circa 18 km, interesserebbe un bacino di utenza corrispondente alla popolazione residente e un bacino turistico fortemente impegnato sia in periodo estivo che invernale, per questo motivo la nuova tratta ferroviaria costituirebbe il presupposto di base per la valorizzazione turistica e produttiva delle aree interessate. Essa inoltre favorirebbe una ristrutturazione della rete delle infrastrutture esistenti sul territorio che consentirebbe di recuperare e valorizzare i vecchi centri storici, le zone naturalistiche e di assicurare maggiore razionalità per i nuovi insediamenti residenziali e produttivi.

Bisogna comunque tenere presente che la zona interessata dallo studio in esame è una delle aree dolomitiche più pregiate dal punto di vista paesaggistico - ambientale, caratterizzata peraltro da una situazione morfologica e da una storia geologica notevolmente complesse. Quindi in futuro, partendo da questo studio di prefattibilità bisognerà valutare non solo le esigenze del trasporto ma anche quelle dell'inserimento ambientale, in modo che il manufatto ferroviario possa diventare parte integrante di quadri visivi gradevoli e del tutto accettabile anche in condizioni di notevole sostenibilità del contesto territoriale.

Si possono comunque già fare delle considerazioni sull'impatto ambientale causato da una linea ferroviaria:

- la sagoma di una linea ferroviaria a binario unico richiede una larghezza complessiva di circa 4 metri con un impatto spaziale paragonabile più ad una pista ciclabile che ad una strada;
- il ridotto livello di rumore, inferiore a quello di un veicolo stradale e concentrato unicamente nei momenti di passaggio del treno 2 o 4 volte in un'ora,
- non sono previsti passaggi a livello in quanto la ferrovia e la strada non s'intersecano mai.

Oltre a questi aspetti, in futuro bisognerà attuare anche delle valutazioni di tipo economico e uno studio delle opere d'arte (gallerie, ponti, ecc.).

La realizzazione della nuova linea ferroviaria sarebbe ulteriormente incentivata se si pensasse di realizzare un collegamento ferroviario anche tra Auronzo di Cadore e Misurina; il valore dei passeggeri/km potrebbe incrementare notevolmente favorendo lo sviluppo di nuovi impianti ricettivi e sportivi con la creazione di notevoli posti di lavoro e di un ambiente più confortevole allo sviluppo demografico.

BIBLIOGRAFIA

- Mayer L., *Impianti Ferroviari*, Roma, CIFI, 2004
- Tocchetti A., *Infrastrutture ferroviarie*, Aracne, 2008.
- Forni M., *Piccola storia della ferrovia Trento-Malè*, in "Ingegneria ferroviaria", novembre 1975
- Serra M., *Il prolungamento della ferrovia elettrica Trento-Malè*, in "Ingegneria ferroviaria", gennaio-febbraio 1989
- *Il Treno dell'Avisio. Una ferrovia per Cembra, Fiemme e Fassa*, Bolzano, 12 Luglio 2010
- <http://www.comune.auronzo.bl.it/turismo-e-territorio>
- http://it.wikipedia.org/wiki/Ferrovia_della_Stubaital
- http://it.wikipedia.org/wiki/Bernina_Express
- http://it.wikipedia.org/wiki/Ferrovia_Trento-Mal%C3%A8-Marilleva
- http://it.wikipedia.org/wiki/Calalzo_di_Cadore
- www.ferrovieabbondante.it
- http://it.wikipedia.org/wiki/Ferrovia_delle_Dolomiti
- www.tmb.at
- http://www.abcdolomiti.com/geologia_dolomiti.htm
- <http://www.dolomitipark.it/it/page.php?id=53>
- UNI EN 933-1
- UNI EN 933-2
- CNR 23
- CNR UNI 10014
- CNR 62
- CNR 63
- CNR 64
- UNI EN 13286-2
- UNI EN 13286-41

Ringraziamenti

Desidero ricordare tutti coloro che mi hanno aiutato nella stesura della tesi con suggerimenti, critiche ed osservazioni: a loro va la mia gratitudine, anche se a me spetta la responsabilità per ogni errore contenuto in questa tesi.

Ringrazio anzitutto il professor Marco Pasetto, Relatore, per i preziosi insegnamenti durante i due anni di laurea specialistica. Ringrazio l'Ingegnere Giovanni Giacomello, Correlatore, che è stato sempre disponibile a dirimere i miei dubbi durante la stesura e lo svolgimento di questo lavoro. Inoltre ringrazio l'Ingegnere Gabriele Pupolin, Correlatore, la cui idea è stata lo spunto per lo svolgimento di questa tesi.

Proseguo con il personale della Biblioteca Centrale di Ingegneria dell'Università degli Studi di Padova per avermi fornito dati e testi indispensabili per la realizzazione della tesi. Ringrazio anche il personale degli uffici tecnici dei Comuni di Auronzo, Lozzo, Domegge di Cadore e il Sinaco del Comune di Calalzo di Cadore che oltre ad avermi fornito la documentazione necessaria per la progettazione dell'infrastruttura ferroviaria mi hanno fornito importanti consigli per svolgerla al meglio.

Vorrei infine ringraziare le persone a me più care: la mia famiglia che, con il sostegno morale ed economico mi ha permesso di raggiungere questo traguardo, e in particolare Giorgio per avermi aiutato e sostenuto in questi anni e per essermi stato vicino in ogni momento durante lo svolgimento di questo lavoro.

Grazie a tutti.

Chiara

