



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

**STUDIO DI PREFATTIBILITA' PER IL
PROLUNGAMENTO DELLA LINEA
FERROVIARIA PADOVA - CALALZO DI
CADORE FINO AD AURONZO
IPOTESI DI REALIZZAZIONE IN QUOTA**

Relatore:
Ch.mo Prof. Ing. MARCO PASETTO
Correlatore:
Ing. GIOVANNI GIACOMELLO
Ing. GABRIELE PUPOLIN

Laureando:
MANFREDINI FEDERICO
Matricola n. 607416

ANNO ACCADEMICO 2013-2014

INDICE

| | |
|--|---------|
| INTRODUZIONE | pag. 5 |
| Capitolo I | |
| LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO TRACCIATO FERROVIARIO | pag. 8 |
| Capitolo II | |
| IL TERRITORIO OGGETTO DEL PROGETTO: IL CADORE | pag. 22 |
| 2.1 – Territorio, ambiente e clima | » 22 |
| 2.2 – Morfologia e geologia del territorio | » 24 |
| 2.3 – L'area specifica oggetto del progetto: Calalzo, Domegge, Lozzo e Auronzo di Cadore | » 28 |
| 2.3.1 – Principali formazioni rocciose e dissesti | » 30 |
| 2.3.2 – Rischio sismico | » 31 |
| 2.4 – Una risorsa non trascurabile: il turismo | » 33 |
| 2.4.1 – Alcuni dati sul turismo | » 35 |
| 2.4.2 – Le Dolomiti, sito UNESCO Patrimonio dell'Umanità | » 38 |
| Capitolo III | |
| LE FERROVIE DI MONTAGNA | pag. 40 |
| 3.1 – La Ferrovia del Semmering | » 43 |
| 3.2 – La Ferrovia della Stubitalbahn o Tranvia di Innsbruck | » 45 |
| 3.2.1 – Caratteristiche | » 46 |
| 3.2.2 – La Storia | » 47 |
| 3.3 – La Ferrovia del Bernina, il Trenino Rosso | » 49 |
| 3.3.1 – Caratteristiche | » 51 |
| 3.3.2 – La Storia | » 52 |
| 3.4 – La Ferrovia Trento-Malè-Marilleva | » 53 |
| 3.4.1 – Caratteristiche | » 55 |
| 3.4.2 – La Storia | » 56 |
| 3.5 – Materiale rotabile e progetti futuri | » 60 |
| Capitolo IV | |
| IL TRACCIATO E GLI ELEMENTI CHE LO COMPONGONO | pag. 62 |
| 4.1 – Il rilevato | » 65 |
| 4.2 – La trincea | » 67 |
| 4.3 – I viadotti | » 67 |
| 4.4 – Le gallerie | » 69 |
| 4.5 – Le gallerie | » 71 |

| | |
|-------------------|------|
| 4.6 – Le gallerie | » 73 |
| 4.7 – Le gallerie | » 75 |

Capitolo V
DESCRIZIONE DEL TRACCIATO pag. 78

Capitolo VI
PROVE SUI TERRENI/MATERIALI PRELEVATI IN SITU PER
EVIDENZIARE LE CAPACITA' PORTANTI DEL TERRENO

| | |
|---|---------|
| 6.1 – Analisi granulometrica | pag. 86 |
| 6.1.1 – Apparecchiatura di prova | » 86 |
| 6.1.2 – Preparazione dei provini | » 87 |
| 6.1.3 – Analisi granulometrica a secco | » 88 |
| 6.1.4 – Analisi granulometrica per via umida | » 89 |
| 6.2 – Limiti di Atterberg | » 90 |
| 6.2.1 – Limite dello stato liquido w_L di una terra | » 90 |
| 6.2.2 – Limite dello stato plastico w_P di una terra | » 92 |
| 6.2.3 – Indice di plasticità | » 93 |
| 6.2.4 – Limite di ritiro di w_S una terra | » 94 |
| 6.3 – Masse volumiche | » 94 |
| 6.3.1 – Massa volumica reale (CNR 62) | » 94 |
| 6.3.2 – Massa volumica apparente (CNR 63) | » 95 |
| 6.3.3 – Massa volumica apparente non addensata (CNR 64) | » 100 |
| 6.4 – Prova Proctor | » 102 |
| 6.4.1 – Apparecchiatura di prova | » 102 |
| 6.4.2 – Preparazione | » 103 |
| 6.4.3 – Procedimento | » 103 |
| 6.5 – Misura del modulo elastico attraverso strumento ad ultrasuoni | » 104 |
| 6.6 – Rottura a compressione dei campioni compattati con Proctor | » 106 |
| 6.6.1 – Apparecchiatura di prova | » 106 |
| 6.6.2 – Procedimento di prova | » 106 |
| 6.6.3 – Espressione dei risultati | » 107 |
| 6.7 – Equivalente in sabbia | » 108 |
| 6.7.1 – Apparecchiature di prova | » 108 |
| 6.7.2 – Esecuzione della prova | » 110 |

Capitolo VII
RISULTATI DELLE PROVE E ANALISI pag. 111

| | |
|--|-------|
| 7.1 – Analisi granulometrica | » 111 |
| 7.2 – Limiti di Attenberg | » 116 |
| 7.2.1 – Limite dello stato liquido w_L di una terra | » 116 |
| 7.2.2 – Limite dello stato plastico w_P di una terra | » 120 |
| 7.2.3 – Limite di elasticità | » 120 |
| 7.3 – Masse volumiche | » 120 |
| 7.3.1 – CNR 62 | » 121 |
| 7.3.2 – CNR 63 | » 122 |
| 7.3.3 – CNR 64 | » 125 |

| | |
|---|----------|
| 7.4 – Prova Proctor | pag. 127 |
| 7.5 – Misura del modulo elastico attraverso strumento ad ultrasuoni | » 129 |
| 7.6 – Rottura a compressione dei campioni compattati con Proctor | » 130 |
| 7.7 – Equivalente in sabbia | » 132 |
| CONCLUSIONI | pag.136 |
| RINGRAZIAMENTI | pag.138 |
| BIBLIOGRAFIA | pag.139 |

INTRODUZIONE

Lo studio di fattibilità per la realizzazione di un collegamento ferroviario tra Calalzo di Cadore e Auronzo di Cadore nasce dalla necessità di soddisfare la domanda di mobilità e la dinamica evolutiva che la realtà territoriale e socio-economica dell' area esprime.

La linea in questione ha come scopo quello di rispondere a diversi obiettivi funzionali quali:

- Consentire un migliore collegamento tra i comuni dell' area cadorina;
- Attivare nuovi circuiti turistici da integrare con quelli già esistenti;
- Creare un' alternativa agli investimenti nel settore stradale nell' area dolomitica, sempre più osteggiati dalle popolazioni locali, in quanto hanno effetti deleteri sui quadri ambientali e di vita di tali località senza al contempo comportare sostanziali vantaggi socio-economici;
- Favorire il sistema plurimodale di traffico ferro-gomma sia per le merci che per le persone.

La nuova tratta ferroviaria Calalzo-Auronzo avente uno sviluppo di circa 16 km, interessa un bacino stabile di utenza per quanto riguarda la popolazione residente e un bacino turistico considerevole sia nel periodo estivo che invernale.

L' opera viaria di cui si discute potrebbe costituire il trampolino di lancio per un ulteriore sviluppo turistico e produttivo delle aree interessate.

L' area in oggetto è infatti una delle aree dolomitiche più pregiate dal punto di vista paesistico-ambientale, caratterizzata da una situazione morfologica e da una storia geologica notevolmente complesse.

Essa favorirebbe inoltre una ristrutturazione e infrastrutturazione del territorio consentendo di recuperare e valorizzare i vecchi centri storici, le zone naturalistiche e di assicurare maggiore razionalità per i futuri insediamenti residenziali e produttivi.

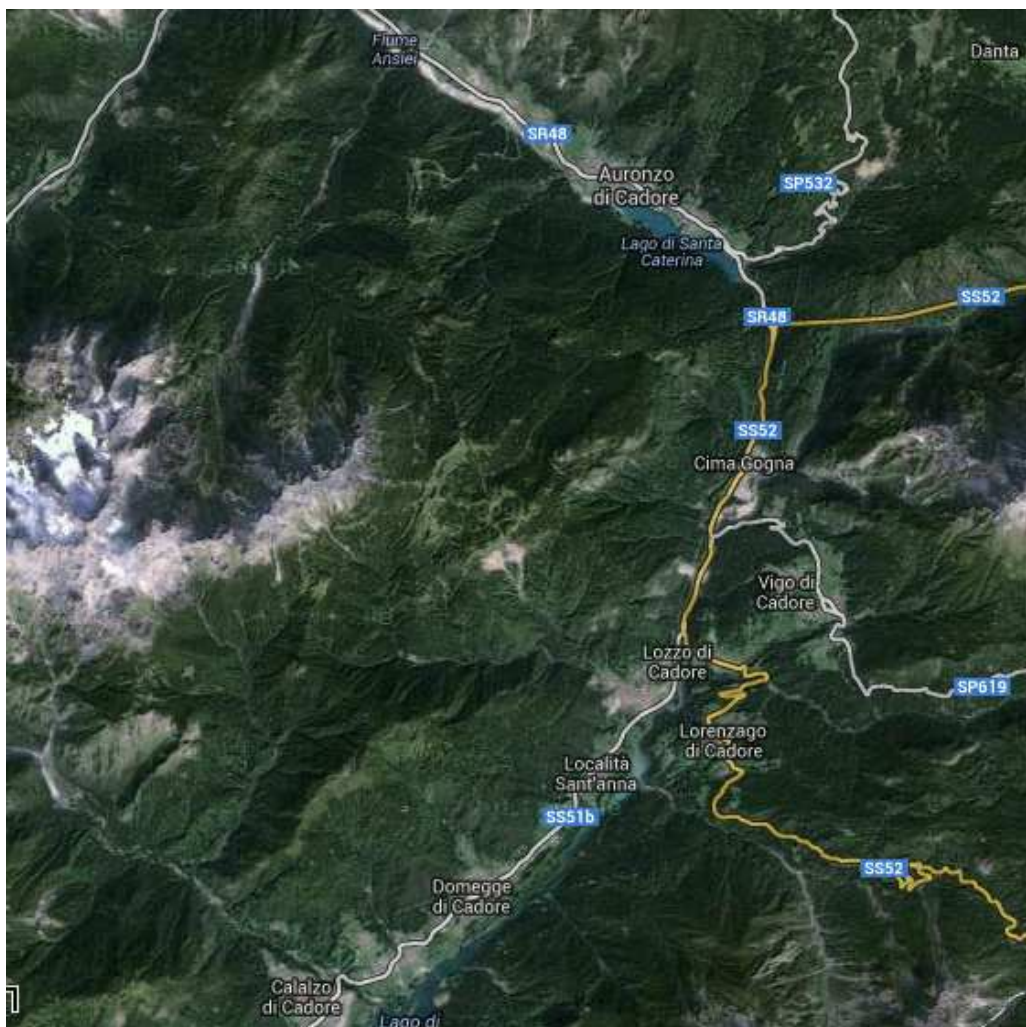


Fig. 1 – Fotografia aerea dell' area in esame

Sarà quindi fondamentale cercare la soluzione ottimale dal punto di vista delle esigenze del trasporto senza dimenticare l' impatto ambientale che tale opera avrà, solo tenendo bene a mente tutte queste considerazioni si potrà pensare un manufatto ferroviario che diventi parte integrante di quadri visivi di pregevole bellezza.

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

L' unica linea di servizio della zona ha le sue radici sulla rete della pianura veneta; trattasi di una linea a singolo binario, non elettrificata ed avente tutte le caratteristiche tipiche di una ferrovia di fondovalle prealpina particolarmente tortuosa ed acclive nel tratto Belluno-Calalzo di Cadore, stazione questa 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 contermini si trovano quindi 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-S. Candido-Leinz-Spittal, linea trasversale e di importanza poco più che locale.

In realtà in passato un collegamento tra Calalzo di Cadore e Dobbiaco, via Cortina d' Ampezzo, esisteva ed era svolto da una linea a scartamento ridotto denominata "Ferrovia delle Dolomiti".

Nacque nel 1916 per scopi militari e nel 1920 ne iniziò il servizio, era lunga circa 65 km con uno scartamento di 950 mm.

La pendenza massima era del 35‰ ed alcune curve avevano il raggio minimo di 60 metri .

Lungo il percorso si incontravano 10 gallerie per una lunghezza complessiva di 1168 m e numerosi ponti.

Il traffico ben presto crebbe grazie anche all' importanza turistica della zona, ma nel secondo dopo guerra lo sviluppo della motorizzazione e dei trasporti su strada ne segnò il declino.

Nel 1962 venne chiusa la tratta Cortina-Dobbiaco e due anni più tardi quella tra Cortina e Calalzo.

Tralasciando quindi la parentesi della Ferrovia delle Dolomiti, la staticità ferroviaria del Cadore ne sta frenando lo sviluppo economico e turistico.

Capitolo Primo

LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO TRACCIATO FERROVIARIO

I tracciati ferroviari si studiano e si realizzano con una successione di rettifili, curve circolari e raccordi di transizione.

Quindi si può affermare che gli elementi che caratterizzano un tracciato ferroviario sono il raggio minimo delle curve e la pendenza longitudinale massima delle tratte.

Tali elementi vengono fissati in funzione della velocità massima prevista sulla linea, del numero e del peso dei singoli treni che si prevede impegneranno la linea.

Le curve incidono sulla velocità di percorrenza di una linea, e assieme alle pendenze longitudinali determinano il grado di prestazione della linea medesima, equiparabile alla resistenza al moto dei convogli, incidendo quindi sulla potenza dei mezzi di trazione.

In campo ferroviario la pendenza longitudinale massima teorica di una linea è quella sulla quale sia ancora possibile tenere ferma una locomotiva frenata.

Tale pendenza è circa del 140‰ ; tuttavia i valori pratici assunti sono molto inferiori alla metà di tale valore teorico essendo necessario considerare eventuali riduzioni accidentali del coefficiente di attrito e l' impossibilità da parte delle locomotive, che non sempre sono ad aderenza totale, di rimorchiare dei veicoli.

Quindi in una ferrovia ordinaria ad aderenza naturale non si dovrebbe mai superare la pendenza del 35‰ , questo è infatti il valore limite attualmente ammesso sulla rete italiana.

Per una linea a grande traffico e con velocità fino a 160 km/h è opportuno limitare la pendenza massima al 12‰ , il valore limite del 35‰ è accettabile per l' alta velocità ferroviaria su percorsi dedicati a soli treni viaggiatori.

Per contenere la pendenza massima entro i limiti stabiliti il modo più semplice sarebbe quello di incrementare la lunghezza di un tracciato, accorgimento che ridurrebbe però la velocità di percorrenza della linea.

Il susseguirsi di rettifili e curve genera, come è noto, una forza centrifuga F_c che tende a ribaltare il veicolo, sollecita la rotaia esterna del binario e riduce il comfort dei viaggiatori.

$$F_c = m \cdot a_c = \frac{P}{g} \cdot \frac{v^2}{R}$$

dove: m è la massa del veicolo; a_c è l'accelerazione centrifuga; P è il peso del veicolo; v è la velocità del veicolo [m/s]; g è l'accelerazione di gravità, pari a $9,81 \text{ m/s}^2$ ed R [m] è il raggio della curva.

A tali inconvenienti si pone rimedio compensando almeno in parte la forza centrifuga anzidetta con una componente della forza peso ottenuta inclinando il piano del ferro, sul quale circolano i rotabili, ovvero sopraelevando la rotaia esterna alla curva (fig.2).

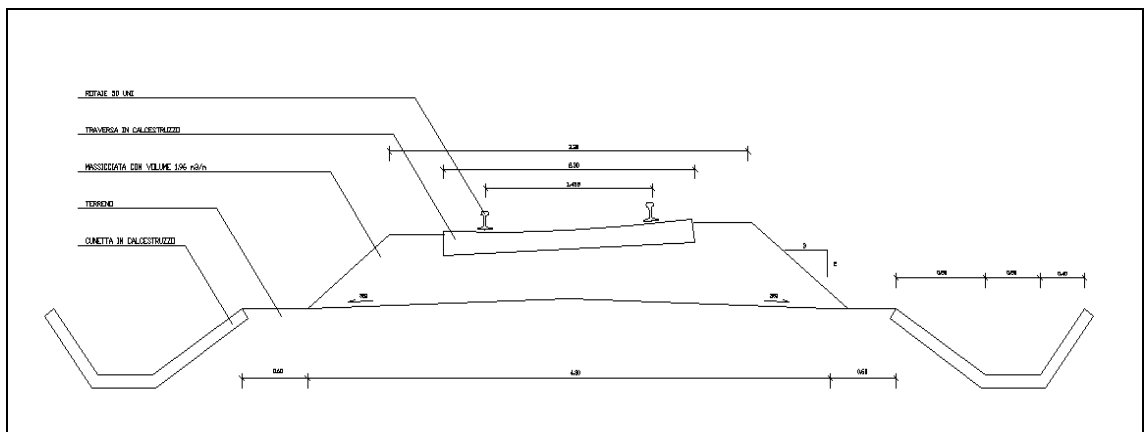


Fig. 2 – Esempio della sopraelevazione della rotaia esterna in curva

La sopraelevazione è funzione della velocità massima di progetto del tracciato, del raggio delle curve e dell' accelerazione centrifuga ammessa che viene normalmente assunta pari a $0,6 \text{ m/s}^2$.

La relazione che lega la velocità massima ammissibile al raggio di curvatura è del tipo:

$$V = 3,6 \cdot \sqrt{a_c \cdot R}$$

dove R è espresso in metri e Vmax in km/h.

Il valore della costante C, coefficiente di esercizio, dipende dal tipo di treno, è infatti più elevato per elettrotreni, elettromotrici ed automotrici diesel in conseguenza del minor peso che grava su ciascun asse di tali mezzi e della posizione più bassa del loro centro di gravità.

Si può quindi assumere per il coefficiente di esercizio un valore pari a 4,619 per treni pesanti con locomotive elettriche o diesel, e un valore pari a 4,892 per elettrotreni, elettromotrici ed automotrici diesel.

Dalla formula si ricava che per una linea percorsa da entrambi questi tipi di treni volendo ottenere una velocità di 150 km/h i raggi planimetrici di curvatura non devono essere inferiori a 1050 metri.

Su linee secondarie si possono adottare velocità massime meno elevate e quindi valori dei raggi di curvatura minori.

Il valore minimo ammesso dalle ferrovie italiane è di 150 metri, cui corrisponde una velocità massima di 55 km/h.

La presenza di curve, oltre a limitare la velocità massima dei treni, produce un incremento degli sforzi di trazione cui viene fatta corrispondere una pendenza fittizia che produca lo stesso effetto.

In base alla pendenza fittizia ad ogni livelletta viene associato un grado di prestazione che nel caso delle ferrovie italiane varia da un minimo di 4,5 ad un massimo di 40,5 per mille (fig. 3).

| i+p | grado di prestaz. | i+p | grado di prestaz. | i+p | grado di prestaz. |
|-----|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|
| 4,5 | 1 | 12 | 12 | 24,6 | 23 |
| 5 | 2 | 12,9 | 13 | 25,7 | 24 |
| 5,5 | 3 | 13,8 | 14 | 27,8 | 25 |
| 6 | 4 | 14,6 | 15 | 29,3 | 26 |
| 6,5 | 5 | 15,8 | 16 | 30,8 | 27 |
| 7 | 6 | 17 | 17 | 32,5 | 28 |
| 7,7 | 7 | 18,4 | 18 | 34,2 | 29 |
| 8,4 | 8 | 19,8 | 19 | 37,5 | 30 |
| 9,2 | 9 | 20,9 | 20 | 40,5 | 31 |
| 10 | 10 | 21,9 | 21 | | |
| 11 | 11 | 22,7 | 22 | | |

Fig. 3 – Tabella che correla la pendenza fittizia al grado di prestazione delle livellette

L'importanza delle curve in una linea ferroviaria ha portato alla determinazione del grado di tortuosità ottenuto come percentuale della somma delle tratte aventi raggio minore o uguale ad un valore prestabilito.

Con l'aumento della velocità fino a 250 km/h e più, è però stata abbandonata questa misura a favore dell'indice di allungamento definito come la differenza tra distanza reale e distanza in linea d'aria dei punti estremi della linea rapportata alla distanza in linea d'aria.

In Italia le linee di nuova costruzione vengono studiate in maniera tale da rendere possibili velocità superiori ai 250km/h quindi il valore minimo dei raggi planimetrici è di 3000 metri e la pendenza massima dell'ordine dell'8‰.

L'uso di pendenze superiori, come fatto in Francia, richiede motori con potenze molto più elevate, ma permette di ridurre il numero di gallerie che sarà necessario realizzare e quindi le complicazioni aerodinamiche che esse comportano in caso di esercizio ad alta velocità.

La scelta di un approccio a discapito dell'altro dipende meramente da considerazioni economiche.

A comporre il corpo ferroviario di una nuova infrastruttura saranno:

- Le rotaie
- Le traverse
- Il binario
- La massicciata
- Gli scambi

La massicciata altro non è che uno strato di pietrisco nel quale vengono annegate le traverse per garantirne la stabilità (fig.4).

Lo spessore della massicciata è costante e dipende dal peso assiale e dalla velocità dei treni che transiteranno sulla linea.



Fig. 4 – Esempio di allocazione delle traverse ferroviarie

La stesa della massicciata avviene su di un piano di regolamento, che segue l'andamento planimetrico del tracciato e che si trova quindi, indipendentemente dal piano campagna, alla quota corrispondente all'andamento altimetrico previsto.

Potrà quindi rendersi necessario, nel concepimento di una nuova infrastruttura, prevedere la realizzazione di:

- Rilevati, nel caso in cui il piano di regolamento debba essere ad un livello superiore rispetto al piano campagna.
- Viadotti, aventi il medesimo scopo dei rilevati, ma realizzano altezze maggiori sul piano campagna.

- Trincee, per portare la piattaforma ad un livello inferiore rispetto al piano campagna.
- Gallerie, necessarie qualora la profondità da raggiungere rispetto alla superficie del terreno sia notevole.
- Opere d' arte minori, come muri di sostegno, ponticelli e opere di difesa.

Sulla massicciata vengono posate le traverse il cui scopo è collegare tra loro le rotaie assicurando lo scartamento e distribuire sulla massicciata lo sforzo trasmesso dai veicoli in transito.

Si possono usare traverse in legno (fig.5) le quali hanno elevata elasticità , alta resistenza agli sforzi dinamici istantanei, ma peso relativamente ridotto.

Tali traverse richiedono trattamenti specifici che ne incrementino la vita utile, il cui limite massimo è comunque non superiore ai 20 anni.



Fig. 5 – Esempio di traverse in legno

In alternativa si possono scegliere traverse in calcestruzzo armato precompresso (fig.6) le quali risultano notevolmente più pesanti delle precedenti e quindi più stabili, inoltre risentono in misura minore dell' usura dovuta agli agenti atmosferici.



Fig. 6 – Esempio di traverse in calcestruzzo armato precompresso

Sulle traverse vengono poi fissate le rotaie, in tal caso la scelta riguarda non soltanto il materiale costituente il profilato bensì anche la forma dello stesso.

La rotaia deve sostenere e guidare le ruote dei veicoli ferroviari, quindi deve essere calcolata in maniera tale da poter resistere agli sforzi verticali statici e dinamici, come una trave continua appoggiata.

Generalmente la sezione trasversale di una rotaia (fig.7) presenta una parte superiore detta fungo, sulla quale insistono direttamente le ruote dei veicoli, una parte inferiore detta suola che si appoggia alle traverse e una parte centrale detta gambo ove si realizza, mediante fori ovoidali, la giunzione tra rotaie consecutive.

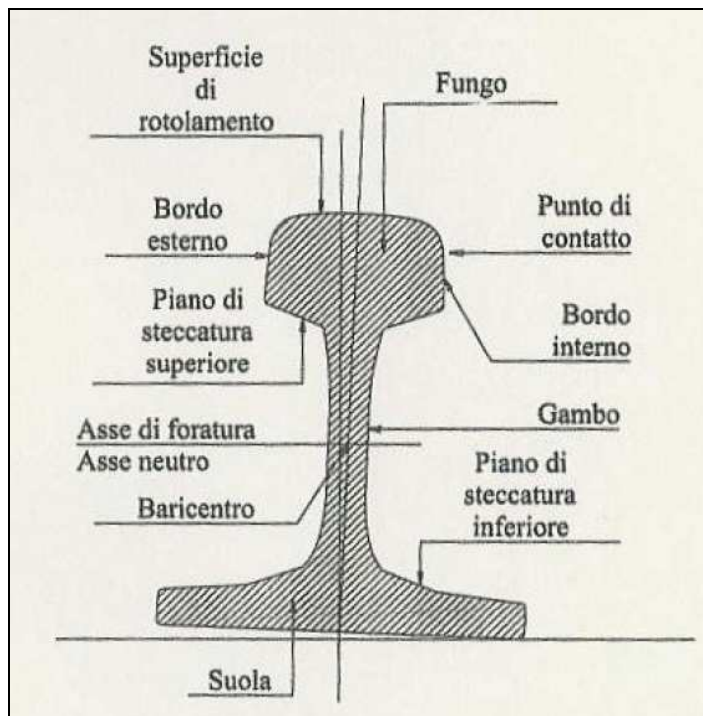


Fig. 7 – Sezione trasversale della rotaia

La classificazione delle rotaie viene fatta in base al loro peso per metro lineare (fig.8), si possono usare rotaie:

- FS 46; aventi un peso di 46 kg/m, usate per armamenti leggeri
- 50 UNI; aventi un peso di 50kg/m
- 60 UNI; aventi un peso di 60kg/m

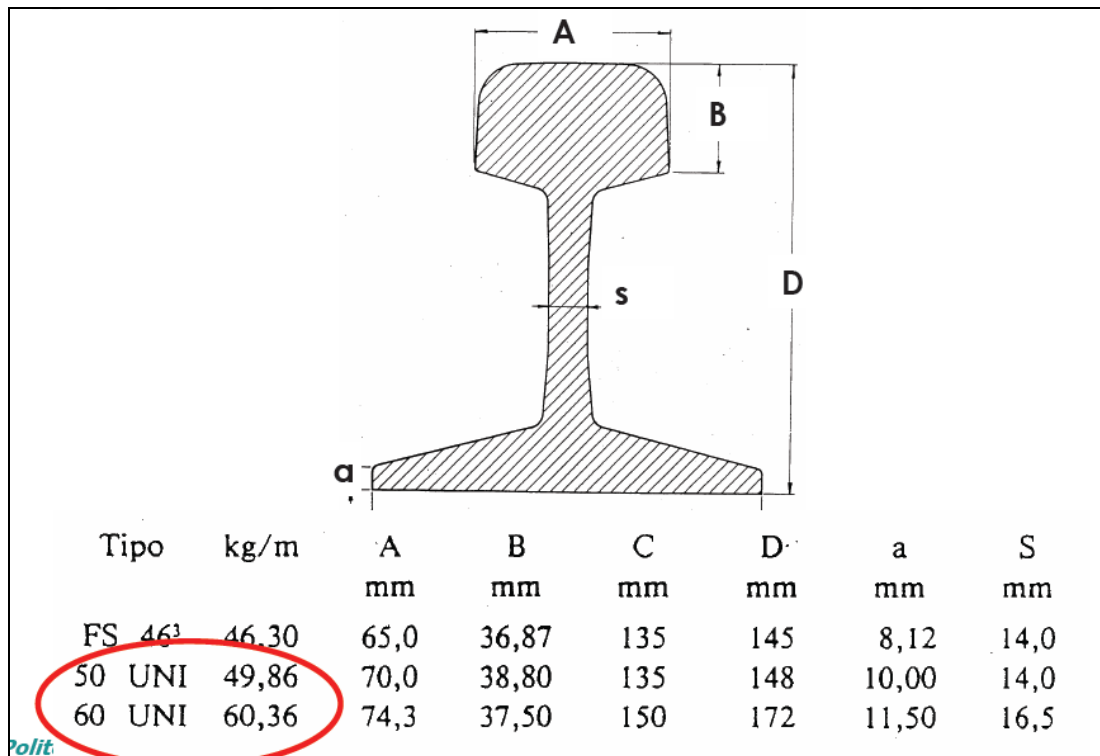


Fig. 8 – Caratteristiche geometriche e di peso dei vari tipi di rotaia

Al variare del tipo di rotaia variano le dimensioni della sezione trasversale della stessa.

Attualmente in Italia si utilizzano soltanto rotaie 50 UNI oppure 60 UNI visti i pesi elevati dei convogli e le alte velocità raggiunte.

Per fissare le rotaie alle traverse si utilizzano attacchi che possono essere diretti o indiretti, anche in questo caso i fattori discriminanti saranno la velocità massima prevista per la linea e il carico massimo previsto.

L' attacco indiretto (fig.9) prevede il fissaggio di una piastra, avente forma a cuneo, alla traversa mediante caviglie, e il fissaggio della rotaia alla piastra mediante bulloni detti chiavarde.

Così facendo l' appoggio della rotaia sulla traversa migliora grazie alla presenza della piastra che contribuisce alla ripartizione degli sforzi su superfici via via maggiori man mano che si procede dalla rotaia alla traversa e quindi alla massicciata.

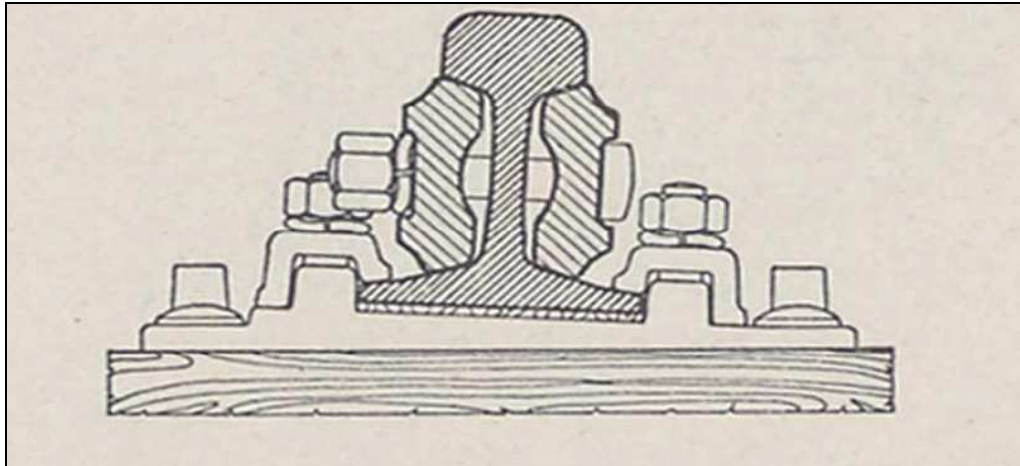


Fig. 9 – Sezione trasversale attacco indiretto

L' attacco diretto (fig.10) prevede invece l' ancoraggio della rotaia con arpioni direttamente alla traversa.

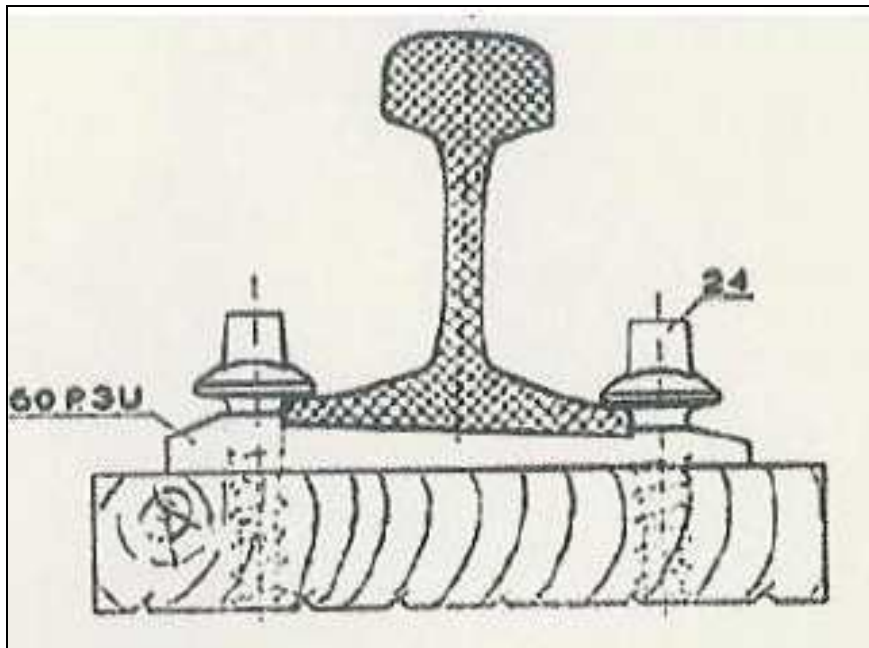


Fig. 10 – Sezione trasversale attacco diretto

Gli scambi o deviatori permettono di instradare un convoglio da un binario ad un altro, sono quindi fondamentali:

- 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;
- nei fasci di smistamento e di ricomposizione, per suddividere i treni in sezioni destinate ad altri convogli o viceversa;
- nei piazzali secondari di stazione e in quelli dei depositi di locomotive.

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 deviatori semplici risultano i deviatori doppi e le comunicazioni tra binari contigui paralleli.

Nel deviatore semplice si distinguono due parti principali: il cambiamento e l'incrocio.

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'incrocio 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.

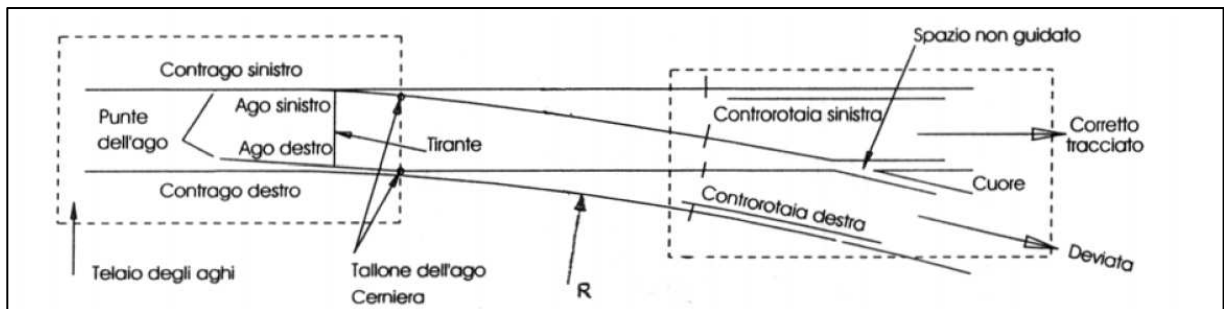


Fig. 11 – Esempificazione di uno scambio

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.

Ma la realizzazione di una nuova linea ferroviaria non si ferma alla progettazione plano-altimetrica del tracciato dove come si è visto a condizionare la maggior parte delle scelte inerenti la geometria del tracciato e degli apparecchi da utilizzare sono la velocità massima prevista per la nuova infrastruttura, e il tipo di veicoli che vi transiteranno.

È infatti necessario considerare anche la realizzazione degli impianti di alimentazione della nuova linea, nonché delle stazioni ferroviarie.

In una linea ferroviaria le tipologie degli impianti elettrici possono essere sintetizzate, per quello che riguarda le infrastrutture, in:

- Impianti di alimentazione tramite linee di contatto
- Sottostazioni a corrente continua
- Linea di contatto e relativi sostegni

Sinteticamente si può dire che lungo una linea ferroviaria la marcia dei treni viene alimentata da energia elettrica fornita dalla linea aerea di contatto.

Quest' ultima è alimentata dalle sottostazioni che hanno una potenza in relazione sia alla circolazione contemporanea di più treni lungo il tracciato sia alle perdite di carico elettriche dovute alle variazioni plano-altimetriche.

L' organo di presa della corrente dalla linea aerea è il pantografo, dotato di barre di contatto striscianti, in generale uno dei conduttori è costituito dalle rotaie.

In altri termini, la corrente circola tra i motori e le rotaie, tramite il contatto delle ruote.

Negli impianti a corrente continua il polo negativo è collegato alle rotaie che costituiscono quindi il circuito di ritorno.

L'attuale sistema di elettrificazione per la rete ferroviaria italiana prevede l'impiego di una tensione di corrente continua di 3kV.

Questo sistema con il passare degli anni e con l'aumento di quelle che sono le richieste prestazionali rivolte al moderno sistema ferroviario ha evidenziato alcune limitazioni di utilizzo che hanno spinto alla ricerca di sistemi di alimentazione ferroviaria differenti.

Di conseguenza il sistema di alimentazione in corrente continua a tensione maggiore di 3 kV viene impiegato nella realizzazione delle sole linee ordinarie.

Qualora si voglia realizzare una nuova linea ad alta velocità si utilizzerà invece il sistema monofase a 25 kV in corrente alternata a frequenza industriale.

Sottovalutata da tanti ma estremamente importante affinché i fondi destinati alla realizzazione di una nuova infrastruttura trovino corretta applicazione è la progettazione delle stazioni ferroviarie.

Il loro corretto dimensionamento e localizzazione sono fondamentali poiché ivi trovano luogo molteplici attività quali:

- arrivi e partenze dei viaggiatori
- spedizione, ricevimento e smistamento delle merci
- operazioni di esercizio
- servizi

Gli impianti che assistono i processi anzidetti sono:

- impianti per il servizio viaggiatori
- impianti per il movimento delle merci
- impianti per le operazioni di esercizio del sistema che presiedono:
 - al movimento (circolazione, incroci, precedenza, formazione di treni, smistamento)
 - alla trazione (sosta, pulizia, rifornimenti d'acqua, combustibile, carburante e lubrificanti)

- alle operazioni sui veicoli (sosta, pulizia, piccole riparazioni, sostituzione batterie accumulatori)
- alle operazioni postali e di magazzinaggio.

Un primo criterio di classificazione distingue:

- le piccole stazioni o fermate con piazzale limitato a due binari di transito
- le stazioni medie
- le grandi stazioni

Un secondo criterio si fonda sulla ubicazione del piazzale della stazione rispetto alle linee che vi confluiscono.

Si distinguono allora:

- le stazioni estreme, poste al termine di una o più linee;
- le stazioni intermedie ubicate lungo le linee;
- le stazioni di diramazione e/o convergenza di due o più linee.

Nei confronti del servizio per il movimento treni le stazioni possono essere:

- di capotronco, che delimitano un tratto di linea dove si svolgono operazioni di gestione relative alla circolazione dei treni;
- di diramazione;
- di comunicazione, dove termina una linea a doppio binario e/o ne inizia una a binario singolo e viceversa.

Infine è possibile una classificazione basata sull' ubicazione dei fabbricati rispetto al fascio di binari.

E cioè:

- stazioni di testa
- stazioni di transito
- stazioni a cuneo, in corrispondenza di biforcazioni
- stazioni ad isola, circondate dalle linee che vi fanno capo.

Quello che può essere definito come un sistema stazione è condizionato dalla situazione topografica, dallo spazio disponibile, dallo sviluppo urbanistico e dalle vie d' accesso ferroviarie e stradali.

L' esistenza di tutti questi vincoli fa sì che non esistano mai due stazioni uguali e impone il dimensionamento dell' impianto riferendosi a condizioni di traffico prevedibili nei futuri venti o venticinque anni viste le notevoli difficoltà che comporterebbero modifiche o ampliamenti dell' impianto in esercizio.

IL TERRITORIO OGGETTO DEL PROGETTO: IL CADORE

Il Cadore è la parte più settentrionale della provincia di Belluno (fig.12), riconosciuta come una delle più belle regioni alpine d'Italia. E' una vallata ricca di laghi e corsi d'acqua che presenta un paesaggio di ampie conche verdi circondate dalle ripide vette delle Dolomiti Orientali.



Fig. 12 – Aree di pertinenza dei vari comuni del Cadore

2.1 Territorio, ambiente e clima

Benchè il nome “Cadore” non sia in uso nella toponomastica ufficiale se non nell'appellativo di sette comuni (Lozzo di Cadore, Pieve di cadore, San Pietro di Cadore, San Stefano di Cadore, San Vito di Cadore, Selva di Cadore, Valle di Cadore) del soppresso circondario cui era a capo Pieve di Cadore, tuttavia il nome stesso è universalmente noto per indicare una regione storica, la quale ha limiti naturali abbastanza definiti per quanto oggi, in relazione con lo sviluppo turistico,

si tenda ad attribuirle una maggiore estensione, comprendendovi valli vicine che propriamente non ne fecero mai parte.

La superficie del territorio è di 1.427,221 km². Il numero di abitanti (Cadore 32.179 + Ampezzo 5.921) era di 38.100 nel 2011.

L' area o regione geografica (con connotazioni storico-culturali molto radicate), comprende tutto il bacino idrografico del fiume Piave, dalla sua sorgente sul Peralba alla località di Termine di Cadore. La sua linea di confine costeggia lo spartiacque del bacino come segue:

- Ad est: partendo da Termine i monti che dividono il Cadore dalla Carnia sono : il Duranno, la Cima dei Preti, gli Spalti di Toro, il Monte Cridola e la Terza Grande.

- A nord: da Cima Sappada al Peralba fino al Col Quaternà e al Passo di Monte Croce di Comelico lungo le creste di confine (delle quali il celebre Monte Cavallino e il Monte Palombino fanno parte). La linea continua verso il Monte Popera, la Croda dei Toni, le Tre Cime di Lavaredo fino al Monte Cristallo e alla Croda Rossa.

- Ad ovest: il Cadore è diviso dalla Val Pusteria e dalla Val Badia dallo spartiacque composto da Croda del Becco, Fanes, Monte Cristallo fino a raggiungere il Passo di Falzarego e Tre Croci.

Lo separa dalle zone dell'Agordino e dello Zoldano lo spartiacque delle valli dei fiumi Maè e Cordevole, composto da maestosi gruppi montuosi quali Nuvolau, Pelmo, Bosconero. In più gli appartengono storicamente il comune di Zoppè di cadore (val di Zoldo) e Selva di cadore (val Fiorentina).

Il comune di Cortina d'Ampezzo, che fa parte del Cadore geografico, fu staccato politicamente dal Cadore (e dalla Repubblica di Venezia) per conquista da parte di Massimiliano D'Asburgo nel 1511 e rimase fino al 1919 sotto l'Impero Asburgico (Tirolo), maturando una propria identità ampezzana, anche se la lingua di Cortina e degli altri paesi cadorini sono rimaste molto simili.

Anche Sappada, alla testa della valle del Piave, conserva una propria peculiarità storica e linguistica rispetto al resto del Cadore: sorta da una colonia tedesca medievale, non fece mai parte della comunità cadorina.



Fig. 13 – Veduta del territorio del Cadore. Fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/File:Centro_cadore.JPG.

Il Cadore viene generalmente suddiviso nei seguenti sub-territori:

- il Comelico (o Alto Cadore, unito alla Val d'Ansiè dal Passo di Monte Zovo e dalla galleria Comelico),
- Sappada,
- il Centro Cadore (Alta Val del Piave, Val d'Ansiè e Oltrepieve),
- la Val Bòite con l'Oltrechiusa e, in passato, l'Oltremonti ¹.

La notevole altitudine di questi luoghi comporta un clima montano caratterizzato da inverni freddi e secchi ed estati fresche, mentre verso la periferia meridionale delle Alpi le piogge si fanno più abbondanti (specialmente in primavera e autunno) raggiungendo in alcuni luoghi i 1700 mm annui².

2.2 Morfologia e geologia del territorio

Il progetto interessa una zona che fa interamente parte delle Dolomiti. Questa denominazione deriva dal nome delle rocce che costituiscono principalmente la regione: le dolomie del Trias medio e superiore; ma l'area dolomitica è in realtà caratterizzata da un'estrema varietà di tipologie litologiche.

¹ Wikipedia: http://it.wikipedia.org/wiki/Cadore#Bellezze_naturali.

² Enciclopedia Treccani: <http://www.treccani.it/enciclopedia/cadore/>.

La presenza di imponenti rilievi, di profonde incisioni e di ampie vallate è da imputarsi proprio a questa grande varietà presente e all'assetto tettonico (derivante dall'orogenesi alpina).

Le forme del paesaggio sono state ulteriormente modellate dall'intensa abrasione dei ghiacciai quaternari e dalla continua erosione selettiva esercitata dalle acque superficiali di scorrimento.

Ai processi naturali di modellamento si deve aggiungere l'azione antropica che, soprattutto in tempi recenti, ha contribuito vistosamente alla trasformazione di alcune parti del paesaggio, sia attraverso la costruzione di insediamenti abitativi e di infrastrutture, sia attraverso la realizzazione di bacini artificiali per lo sfruttamento idroelettrico.

La stretta correlazione tra litologia, ambienti fisico-geografici e paesaggio identifica le seguenti unità geomorfologiche:

- a) Rilievi costituiti da *rocce di natura calcareo-dolomitica e subordinatamente marnoso-arenacea*, con morfologia rupestre caratterizzata in genere da pareti, guglie e forre. In particolare queste rocce, di età paleozoica e mesozoica, sono rappresentate, in successione stratigrafica dal basso verso l'alto, dalle seguenti formazioni:
 - piattaforme carbonatiche del Triassico della dolomia del Serla inferiore o superiore (Anisico Inferiore), formazione del Contrin (Anisico Superiore), della dolomia dello Sciliar (Ladinico) e della dolomia cassiana (Camico medio-inferiore). Esse sono costituite da calcari e da dolomie calcaree di colore biancastro, grigio-chiaro, giallastro, talora rosato a stratificazione indistinta, che formano l'ossatura di numerose cime. In seno a queste rocce si rinvengono orizzonti mineralizzati a pirite, blenda e galena. Alle formazioni sopra descritte si aggiungono le formazioni di Diirrenstein e di Raibl (Camico medio-superiore), quando non presentano affioramenti estesi, che rappresentano la parte elastico-terrigena e che formano le classiche "cenge", le selle e pianori delle alte quote. Infine la dolomia principale (Norico) e il calcare di Dachstein (Retico) che costituiscono le

pareti, alte anche più di mille metri, delle maggiori e più famose vette (Pelmo e Civetta).

- formazioni giurassiche, presenti alla sommità di alcuni rilievi o in ristrette località (Civetta e Pelmo); ai margini della catena dolomitica sono generalmente rappresentate da calcari e calcari-marnosi, ben stratificati in strati sottili con noduli e liste di selce prevalentemente nerastra. Tra le formazioni più interessanti si possono ricordare i calcari grigi, la formazione di Igne, di Fonzaso, del Rosso ammonitico.

b) Rilievi costituiti da *rocce di natura vulcano elastica, marnoso-arenacea e marnoso-carbonatica* con versanti più o meno ripidi spesso coperti da vegetazione e caratterizzati da morfologia varia. Vi appartengono tutti i rilievi non costituiti da rocce carbonatiche; in funzione della natura litologica e delle conseguenti capacità di resistenza all'azione degli agenti erosivi, tali versanti possono presentare pendenze da modeste ad acclivi, comprese pareti rocciose sub verticali e forre. Sono state riunite in questa unità le rocce terrigene, terrigeno-carbonatiche, vulcaniche e vulcano-terrigeno del Triassico, a eccezione di quelle raibliane comprese nell'unità precedente per affinità morfologica, se non rappresentate da affioramenti estesi. Appartengono a questa unità le seguenti formazioni:

- di età triassica, la formazione di Werfen (Scitico), il gruppo di Buchenstein (Ladinico inferiore), il gruppo di Wengen (Ladinico superiore) e in parte la formazione di Dan Cassiano; esse hanno rapporti geometrici ben definiti con le formazioni precedenti e dal punto di vista litologico sono costituite da brecce, conglomerati, arenarie, arenarie vulcano clastiche, siltiti rossastre e giallastre, marne varicolori e nere, cineriti vulcaniche, lave di varia natura, calcareniti e calcari dolomitici e marnosi.

- di età cretacea, biancone (o calcare di Soccher), scaglia rossa e scaglia cinerea; si tratta in prevalenza di calcari micritici e calcari marnosi anche nodulari, di colore rosso-rosato, verdastro o bianco avorio, con abbondanti

liste e noduli di selce rossa o nera, sottili livelli argilloso- marnosi di vari colori; marne, argille calcaree e calcari argillosi di colore rosso rosato e grigio chiaro.

- c) Rilievi e versanti costituiti da *gessi* e subordinatamente da *rocce calcareo-dolomitiche*, spesso con spiccata morfologia carsica. Sono presenti solo localmente in Val del Bòite, e vi appartengono le rocce evaporitiche, quali gessi e anidriti e, subordinatamente, dolomie cariate, ascrivibili alla formazione di Bellerophon (Permiano superiore).

- d) Accumuli di frana, coni e falde detritiche, depositi glaciali di alta montagna.

In questa classe sono compresi i depositi quaternari che si trovano in alta montagna e nelle valli secondarie e che costituiscono la coltre di copertura delle rocce sopra descritte.

Tali depositi possono essere distinti sulla base dei processi morfogenetici.

I depositi glaciali sono costituiti da detriti di natura varia e differente granulometria, anche con blocchi di grandi dimensioni, inglobati in una matrice sabbiosa più o meno limoso-argillosa.

Gli accumuli di frana sono presenti in genere alla base delle pareti rocciose o lungo pendii che collegano le pareti al fondovalle; sono costituiti da ammassi caotici di detriti la cui natura rispecchia quella delle rocce che sono state interessate dal fenomeno franoso.

- e) Depositii glaciali delle zone collinari e di fondovalle.

I depositi morenici, legati all'esistenza dei ghiacciai che scendevano lungo le valli principali o laterali, sono formati da materiali eterogenei a granulometria varia, inglobati in più o meno abbondante matrice limo-argillosa.

- f) Conoidi e altri depositi fluviali, fluvio-glaciali e alluvionali presenti sul fondo delle principali valli.

Si tratta in genere di ghiaie, sabbie, limi e argille che sono stati trasportati e depositati dal fiume Piave e dai suoi principali affluenti sopra il substrato roccioso dopo il ritiro degli ultimi ghiacciai.

Spesso tali sedimenti risultano terrazzati: ciò si verifica quando i depositi alluvionali sono stati incisi dal corso d'acqua che li ha depositati.

g) Depositi lacustri, costituiti in prevalenza da torbe, limi e argille.

Questi sono localizzati sul retro di cordoni morenici che hanno sbarrato la valle o di ostruzioni verificatesi nelle valli a seguito di fenomeni franosi o di trasporto in massa.

Dal punto di vista morfologico si riconoscono facilmente in quanto modificano il profilo del corso d'acqua e rappresentano aree sub-pianeggianti³.

2.3 L'area specifica oggetto del progetto: Calalzo, Domegge, Lozzo e Auronzo di Cadore

La porzione di territorio interessata al progetto ferroviario di cui si interesserà questa tesi riguarda le località di: Calalzo di Cadore, Domegge di Cadore, Lozzo di Cadore e Auronzo di Cadore (Fig. 14):

- Calalzo è un comune di circa 2130 abitanti⁴, il più antico insediamento della regione e cuore geografico del Cadore.

Sorge non lontano da Pieve, sopra un terrazzo morenico, sulla sponda del lago omonimo (Lago di Cadore) e all'ingresso delle valli d'Oten e Molinà.

Dal 1914 Calalzo è un importante nodo ferroviario, punto di arrivo della tratta che collega Venezia e il Cadore.

³ My Portal: http://www.comune.zoldoalto.bl.it/web/cmcadorelongaronesezoldo/vivere/vivere-interna?p_p_id=ALFRESCO_MYPORTAL_CONTENT_PROXY_WAR_myportalportlet_INSTANCE_nc6A&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&template=/regioneveneto/myportal/html-generico-detail&uuid=d09f672e-2254-45da-8083-66e65cfa86bc&contentArea=_CMCadoreLongaroneseZoldo_vivere-interna_Body1_&selVert=menu-contestuale_b25f09bd-a18c-4a4a-8192-d7f9c699308f.

⁴ Dati ISTAT 2013.

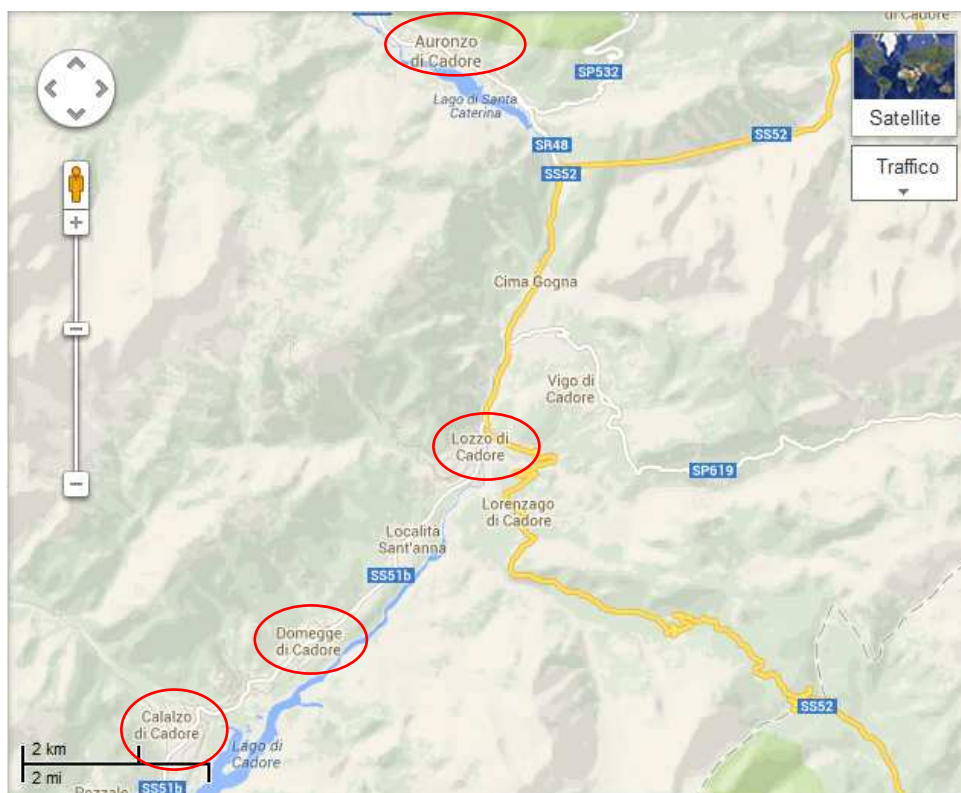


Fig. 14 – Mappa che evidenzia i comuni interessati dal progetto.

- Auronzo è un comune di 3400 abitanti⁵, situato lungo le sponde di un grande lago artificiale, Lago di S. Caterina, ricavato dallo sbarramento delle acque del fiume Ansièi.

E' un'affermata stazione turistica sia estiva che invernale, dotata di buone strutture ricettive e sportive.

Il bacino lacustre, formatosi negli anni Trenta a seguito della costruzione di una diga Enel, fa di Auronzo una spiaggia attrezzata, cornice di importanti competizioni di motonautica e di canoa.

- Domegge è un paese di 2500 abitanti⁶, situato sulle rive del lago di Cadore.

- Lozzo è un centro raccolto e tranquillo con circa 1500 abitanti⁷, attraversato dalla strada statale, situato in posizione leggermente infossata sulla destra del Piave.

⁵ Dati ISTAT 2013.

⁶ Dati ISTAT 2013.

⁷ Dati ISTAT 2013.

2.3.1 Principali formazioni rocciose e dissesti

Dal paragrafo precedente riguardante la morfologia del terreno si riscontra che nella zona di interesse sono presenti le seguenti formazioni rocciose: Formazione di Raibl, Formazione a Werfen, a Dadocrinus, a Trinodosus, Formazione a Bellerophon, terreni sciolti della copertura quaternaria.

L'instabilità della regione dolomitica è caratterizzata da processi geodinamici attivi che si manifestano sottoforma di frane ed erosioni, anche attraverso singoli episodi, mettendo in pericolo abitanti ed infrastrutture.

Per documentare tali situazioni si considerano le principali formazioni rocciose e i rispettivi dissesti più significativi nella porzione di territorio oggetto del progetto:

- Formazione di Raibl:

Formazione complessa costituita talora da argille e marne friabili ed erodibili e talora da gessi solubili.

La propensione al dissesto è molto elevata.

Spesso queste rocce sono affioranti tra le formazioni dolomitiche ladiniche con effetto instabilizzante anche della dolomia principale che di per sé è di natura stabile.

Si sono verificati estesi fenomeni franosi antichi nella conca di Cortina e fenomeni franosi attuali nella zona di Rio Gravasecca in Valle Ansiè e in Val Popena.

- Formazione a Werfen, Formazione a Dadocrinus, Formazione a Trinodosus

Sono costituite da rocce sedimentarie arenacee, calcareo-marnose, fittamente stratificate, fratturate, erodibili ed affette da diffusi fenomeni di instabilità.

Sono tra le formazioni geologiche più dissestate dell'area dolomitica.

Frequenti sono le zone erosive e le frane circoscritte di vario genere: scivolamenti, disgregazioni superficiali, colate.

Numerose frane su queste rocce sono visibili in Centro Cadore e nei pressi di Auronzo.

- Formazione a Bellerophon

Marne, calcari marnosi, dolomie e calcari carciati.

Sono rocce molto suddivise, permeabili, solubili, affette da carsismo con propensione al dissesto molto elevata: sono infatti diffuse le frane e i cedimenti doliniformi per crollo di cavità sotterranee. Ciò spiega l' instabilità del versante a monte di Lozzo di Cadore, i frequenti sprofondamenti doliniformi a Domegge, Pelos e Calalzo e infine gli estesi bacini erosivi presso Auronzo.

- Terreni sciolti della copertura quaternaria

Detriti di falda, conoidi detritiche, depositi alluvionali recenti, depositi fluvio-glaciali sono presenti in affioramenti molto estesi alla base delle pareti dolomitiche ed in tutti i fondo valle ed hanno scarsa propensione al dissesto. Con particolare riguardo va però trattata la presenza di depositi morenici per la grande suscettibilità all'acqua che li rende franosi ed erodibili.

Numerose frane antiche e recenti si sono verificate su terreni morenici e detritici in Valle d'Ansiè tra Gravasecca, val Marzon, Val da Rin e Ruvadoi.

Le altre formazioni presenti in zona sono per lo più stabili, non creano perciò particolari problemi anche se non sono da sottovalutare le conoscenze dei comportamenti geomeccanici dei terreni⁸.

2.3.2 Rischio sismico

La classificazione sismica del territorio nazionale ha introdotto normative tecniche specifiche per la costruzione di edifici, ponti ed altre opere in aree geografiche caratterizzate dal medesimo rischio sismico.

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido o pianeggiante, indicata con **ag**, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

⁸ Valutazioni tecniche, economiche e turistiche dell'inserimento ferroviario nella zona Calalzo-Dobbiaco, Cristina Sanvido, Tesi di Laurea, Padova 1991-1992.

| <i>Zona sismica</i> | <i>Fenomeni riscontrati</i> | <i>Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni</i> |
|---------------------|--|--|
| 1 | Zona con pericolosità sismica alta . Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti. | $ag \geq 0,25g$ |
| 2 | Zona con pericolosità sismica media , dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti. | $0,15 \leq ag < 0,25g$ |
| 3 | Zona con pericolosità sismica bassa , che può essere soggetta a scuotimenti modesti. | $0,05 \leq ag < 0,15$ |
| 4 | Zona con pericolosità sismica molto bassa . E' la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici sono basse. | $ag < 0,05g$ |

Tab. 1 – Tabella delle zone sismiche italiane.

La zona sismica dei territori di Calalzo, Domegge, Lozzo e Auronzo, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Deliberazione del Consiglio Regionale Veneto n. 67 del 03.12.2003, rientra nel terzo gradino della mappa di pericolosità sismica⁹:

| | | |
|---|---|-----------------------|
| 3 | Zona con pericolosità sismica bassa , che può essere soggetta a scuotimenti modesti. | $0,05 \leq ag < 0,15$ |
|---|---|-----------------------|

⁹ Tuttitalia.it: <http://www.tuttitalia.it/veneto/70-lozzo-di-cadore/classificazione-sismica-climatica/>

2.4 Una risorsa non trascurabile: il turismo

Molte sono le attività turistiche e per il tempo libero che questa zona e il suo paesaggio danno la possibilità di praticare sia d'estate che d'inverno: dall'escursionismo all'alpinismo, dalle uscite in bici e mountain bike alle passeggiate all'aria aperta per sentieri e percorsi.

Qui trova luogo infatti la XVI Settimana Nazionale dell'Escursionismo, una manifestazione organizzata dal CAI VENETO, dal CLUB ALPINO ITALIANO e dal CAI ESCURSIONISMO che interessa le valli del Cadore e d'Ampezzo.

Nel programma ovviamente sono inseriti anche Calalzo, con escursioni all'anello del Chiaggiato, alla Cascata delle Pile, al sito archeologico di Làgole, percorsi da Calalzo a San Vito (La Stua,-Baion-Chiaggiato, Chiaggiato-Galassi-San Vito); Domegge, con uscite presso il sentiero Cresta di Podcroda, all'anello del Col Buffon, all'anello del Val Montanaia e a Cima Montanel; Lozzo, con visite alla Via dell'Altopiano, all'anello del Sole, alla Strada del Quoilo; e infine Auronzo, con visite presso il Lago di Misurina (Cadini di Misurina), presso le Tre Cime di Lavaredo, presso l'anello Tre Cime Paterno e al Monte Piana¹⁰.

Da Auronzo a Pieve di Cadore ogni anno nel mese di febbraio si svolge la Ciaspalonga delle Marmarole, con partenza da Auronzo, ai piedi delle piste da sci in località Reane, e arrivo in Piazza Tiziano a Pieve.

La gara si sviluppa lungo un percorso di 44 km dal versante Nord a quello Sud del gruppo dolomitico delle Marmarole, con un dislivello positivo di 2600 m, percorrendo itinerari appartenenti all'iniziativa "Cadore Regno delle Ciaspe", caratterizzati da splendide vedute¹¹.

Le alte vette offrono gli spazi e le condizioni ideali per poter praticare sci e snowboard nei periodi invernali. La ski area del Centro Cadore si sviluppa nei comuni di Pieve, Calalzo, Domegge, Lorenzago e Vigo. Non si può parlare di una vera e propria ski area, ma di una serie di piste, per lo più per lo sci di fondo (alcune piste da discesa si trovano nei pressi di Casera Razzo e Vigo di Cadore), distribuite tra i vari comuni che costituiscono la zona.

¹⁰ Cadore Dolomiti: <http://www.cadoredolomiti.it/sne/calendario-delle-escursioni/>.

¹¹ Ciaspalonga delle Marmarole: <http://www.ciaspalonga.it/d7.4/index.php>.

Il comprensorio sciistico di Auronzo situato sul monte Agudo, raggiungibile dal paese con uno skibus, offre piste attrezzate sia per lo snowboard che per lo sci alpino.

A Palus San Marco, nella riserva naturale di Somadida, sono invece presenti percorsi adatti per gli amanti dello sci di fondo¹².

Ben più importante è la ski area di Auronzo, che con Cortina d'Ampezzo, Misurina e San Vito di Cadore, fa parte del primo comprensorio sciistico del Dolomiti Superski; il carosello sciistico più grande al mondo: 12 valli e 1.200 km di piste con un unico skipass.

È quindi facile intuire come il turismo ad Auronzo di Cadore sia maggiormente sviluppato rispetto ad altri comuni dell'area, nonostante non sia l'unica località per gli sport invernali.

Questo è principalmente dovuto a due motivi: il primo è da ricercarsi nella sua frazione, Misurina: l'invidiabile altitudine di 1.752 metri di tale cittadina le garantisce un innevamento naturale costante durante la stagione sciistica, caratteristica che la rende assai attraente agli occhi degli amanti di tale sport.

La seconda motivazione del successo turistico del comune di Auronzo è l'imponente panorama che incornicia tale luogo: il Gruppo del Cristallo, il Sorapiss, i Cadini di Misurina, le Marmarole, le Tre Cime di Lavaredo e i paesaggi boschivi che circondano i laghi e i torrenti che attraversano la Val d'Ansiè¹³ impressionano lo sguardo di chiunque voglia trascorrere qualche giorno immerso nella natura.

Non si dimentichi che un numero notevole di laghi arricchisce il patrimonio idrico della zona apprezzato da moltissimi visitatori, tra questi: il Lago di Misurina, il Lago Sorapiss, il Lago d'Antorno (Auronzo di Cadore), il Lago di Sant'Anna (Pedola), il Laghetto delle Tose (Calalzo di Cadore), il Lago di Centro Cadore (artificiale), il Lago di Auronzo (artificiale), il Lago di Comelico (artificiale), il Lago di Valle di Cadore (artificiale), il Lago di Vodo di cadore (artificiale), il

¹² Dolomiti.it: <http://www.dolomiti.it/it/bellunese/skiarea/cadore/>.

¹³ Travel Fanpage: <http://travel.fanpage.it/sciare-ad-auronzo-di-cadore-e-misurina-sotto-le-tre-cime-di-lavaredo/>.

Lago di Cestella (Danta di Cadore), il Laghetto delle Baste (San Vito di Cadore) e i Laghi d'Olbe (Sappada)¹⁴.

2.4.1 Alcuni dati sul turismo

Sin'ora si è parlato delle bellezze naturali offerte dal Cadore, vediamo ora però le presenze turistiche che tale offerta attrae.

Il Cadore (considerando Cortina e Selva) vale il 3,3% delle presenze in rapporto al totale del Veneto (che è la regione italiana con il più alto valore di presenze turistiche, 62.351.657 nel 2012) e il 42,3% rapportato al totale delle medesime nel comprensorio Montagna; come si può vedere dal grafico riportato sotto.

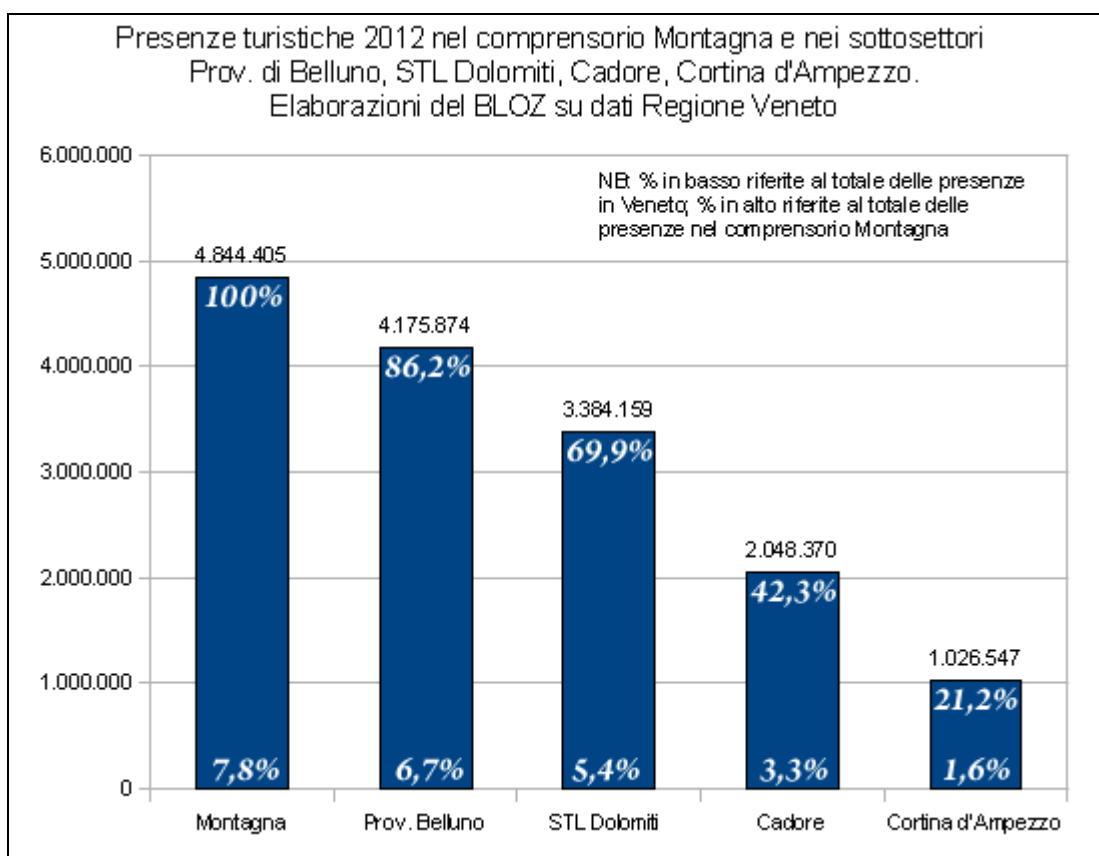


Fig. 15 – Grafico presenze turistiche Provincia di Belluno.

¹⁴ Wikipedia: http://it.wikipedia.org/wiki/Cadore#Bellezze_naturali.

Prendiamo ora in considerazione la segmentazione territoriale: Comelico, Centro Cadore e Val Boite, (nella quale, nei casi che seguono, Cortina d'Ampezzo è considerata autonomamente e della quale Selva di Cadore non fa parte, essendo conteggiata in "resto della provincia di Belluno") e confrontiamola con il territorio della "provincia di Belluno" e le presenze turistiche ad essa collegate.

Identificando con l'appellativo "*Cadore Turistico*" tutti i comuni appartenenti a Comelico, Centro Cadore e Val Boite; quello che si nota è che le presenze nel *Cadore Turistico* (899.081) valgono il 21,53% del totale provinciale (4.175.874).



Fig. 16 – Grafico presenze turistiche Provincia di Belluno anno 2012

Del Cadore Turistico, Auronzo è da considerarsi la perla per eccellenza, portando a casa 290.197 presenze , il 32,28%, sul totale di 899.081 (ovvero il 6,95% sul totale provinciale).

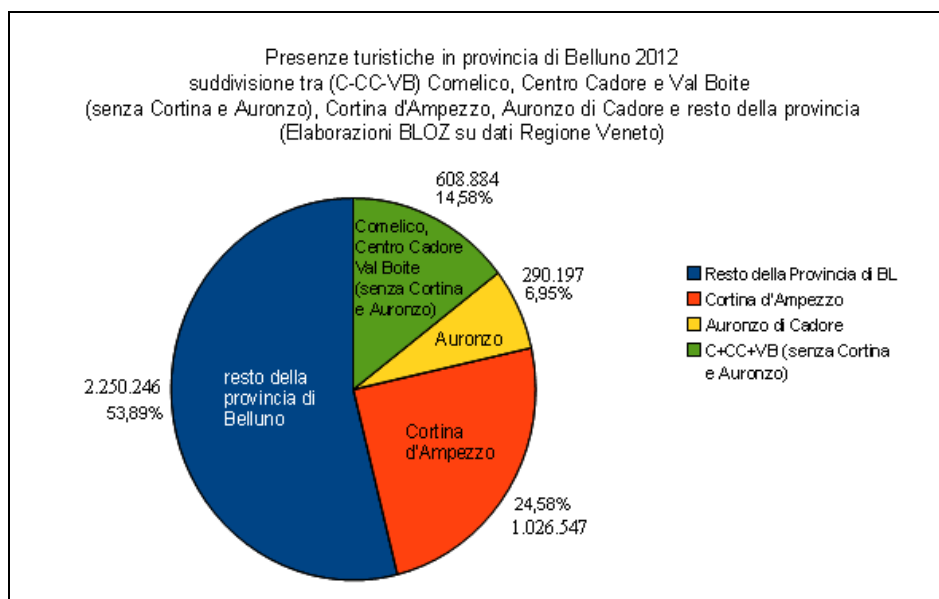


Fig. 17 – Grafico presenze turistiche Provincia di Belluno

Ecco infine quali sono i rapporti di forza nell' economia del Centro Cadore: ad Auronzo si concentra il 67,18% delle presenze, mentre a Pieve, Vigo e Calalzo se ne registrano, rispettivamente, l'8,98% l'8,26% e il 7,99% .

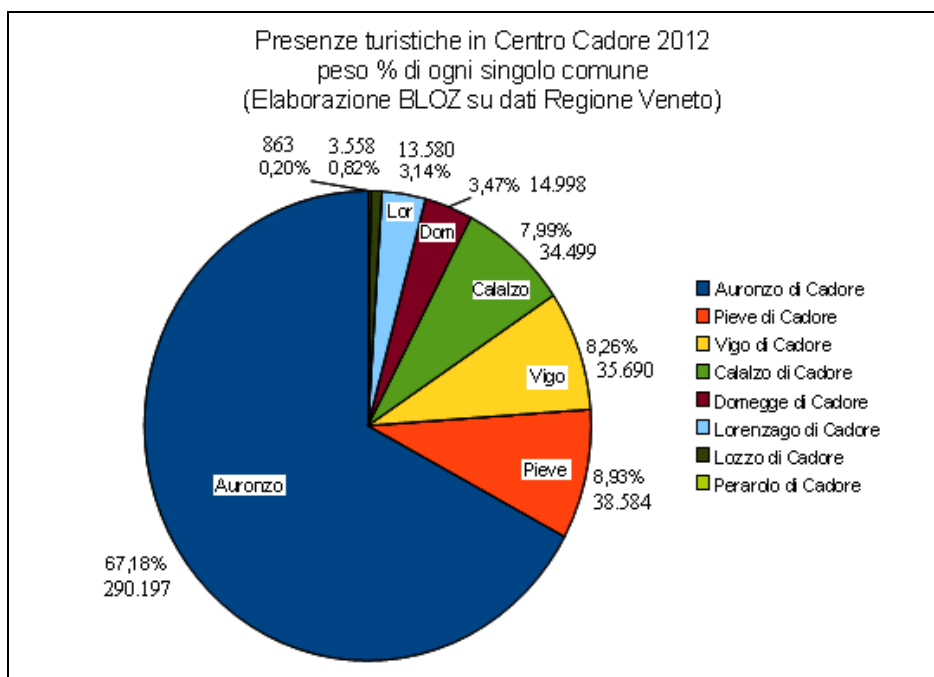


Fig. 18 – Grafico presenze turistiche in centro Cadore

Appare chiaro alla luce di questi dati come una nuova infrastruttura ferro-tramviaria che colleghi Calalzo, Domegge, Lozzo e Auronzo possa incrementare ulteriormente il turismo di queste aree, decongestionando al contempo dalle automobili i parcheggi, oramai al collasso, utilizzati dai numerosi visitatori delle Tre Cime di Lavaredo.

Se poi si considera la possibilità di prolungare in futuro tale linea ferro-tramviaria raggiungendo Cortina d'Ampezzo allora i numeri visti sopra potrebbero incrementarsi notevolmente favorendo lo sviluppo di nuovi impianti ricettivi e sportivi; e con la creazione di nuovi posti di lavoro e di un ambiente più confortevole, lo sviluppo demografico.

2.4.2 Le Dolomiti, sito UNESCO Patrimonio dell'Umanità

Il World Heritage Committee ha ufficialmente inserito le Dolomiti nella lista del Patrimonio Universale dell'Umanità UNESCO nel 2009.

La decisione sulla candidatura presentata dallo stato italiano è stata presa all'unanimità dai 21 membri della commissione UNESCO, riunita a Siviglia il 26 giugno del 2009.

Alla proclamazione ha assistito la delegazione italiana guidata dall'ambasciatore all'UNESCO Giuseppe Moscato e dal ministro all'Ambiente Stefania Prestigiacomo.

In sala anche rappresentanti della Provincia di Belluno, capofila del progetto.

Il sito Le Dolomiti rispecchia due dei criteri per l'inserimento di un bene nella Lista del Patrimonio Mondiale, il settimo e l'ottavo, ovvero:

(VII) presentare fenomeni naturali eccezionali o aree di eccezionale bellezza naturale o importanza estetica;

(VIII) costituire una testimonianza straordinaria dei principali periodi dell'evoluzione della terra, comprese testimonianze di vita, di processi geologici

in atto nello sviluppo delle caratteristiche fisiche della superficie terrestre o di caratteristiche geomorfiche o fisiografiche significative¹⁵.

Questo riconoscimento conferisce sicuramente maggior prestigio a questi luoghi, incrementando così l'attrattività turistica della zona ma ponendo vincoli relativi alla tutela, valorizzazione e promozione del luogo; vincoli che potrebbero ostacolare la realizzazione di nuove infrastrutture.

¹⁵ Associazione Beni Italiani Patrimonio Mondiale UNESCO: <http://www.sitiunesco.it/le-dolomiti.html>.

Capitolo Terzo

LE FERROVIE DI MONTAGNA

Il problema della mobilità attraverso le Alpi sta tornando attuale più che mai, soprattutto dopo la ratifica del Protocollo Trasporti della Convenzione alpina da parte dell'Italia (Ottobre 2012). Con quel provvedimento, che tutti i Paesi alpini europei avevano già approvato nel corso degli anni, anche il nostro Paese si è allineato con fatica alle posizioni più illuminate d'oltralpe. Si sa che nella mentalità italiana, peraltro continuamente alimentata dalle "lobbies" del trasporto su gomma, la rotaia non è mai stata amata. Ciò vale sia per la rete tranviaria delle grandi città, abbondantemente tagliata o cancellata negli anni Sessanta / Settanta del Novecento e in controtendenza rispetto al centro e al nord Europa, sia per la rete ferroviaria cosiddetta "minore" o secondaria. Si tratta, soprattutto, di un problema culturale antropologicamente documentabile, molto prima che di un problema tecnico o di analisi econometriche costi / benefici.

Gli anni Sessanta del secolo scorso ponevano già il problema dei cosiddetti "rami secchi" (anche i rami delle piante non sempre seccano da soli, ma spesso vengono fatti seccare per incuria!). Si tratta di quelle linee ferroviarie che si volevano eliminare per scarsa frequentazione ma che, in realtà, si volevano sacrificare sull'altare della nascente mitologia auto-transportistica. Erano gli anni in cui la Fiat del prof. Valletta dettava le politiche dei trasporti a livello nazionale, nella direzione del disimpegno progressivo verso il settore ferroviario, ed a favore delle autostrade ritenute uniche panacee per la ricostruzione industriale del dopoguerra. Certamente l'Italia aveva bisogno di nuove strade a scorrimento veloce e di autostrade. Tuttavia, mentre gli Stati transalpini - Francia, Svizzera, Austria, Germania Ovest - indirizzavano il progresso tecnologico verso il miglioramento di tutte le infrastrutture (vecchie e nuove) nella prospettiva dell'integrazione strada-rotaia, le italiane "Cassandre" prospettavano un graduale declino della strada ferrata. E così, una dopo l'altra, venivano chiuse all'esercizio molte linee intra-alpine che avrebbero potuto garantire accessi dolci alle valli, a basso

inquinamento e occupazione limitata degli esigui spazi della montagna. Nella regione trentino-sudtirolese ne faranno le spese la Mori-Arco-Riva (1936), la Brunico-Campo Tures (1957), la Chiusa-Plan Val Gardena (1962), la Ora-Predazzo (1963), la transregionale Ferrovia delle Dolomiti Dobbiaco-Cortina-Calalzo (1964). Resisteranno alla furia distruttiva la Trento-Malè: la vecchia “vaca nònesa” oggi trasformata in una moderna ferrovia, prolungata con grande lungimiranza fino a Marilleva e prossimamente fino a Mezzana. Sull’altipiano bolzanino fa ancora bella mostra di sé la Ferrovia del Renon, vero oggetto di culto ferro-amatoriale, frequentata da turisti e residenti. In Val d’Ossola, fra Piemonte e Canton Ticino, si è salvata ed è stata rilanciata con materiali e servizi di qualità la Domodossola-Locarno grazie al fatto che, per metà percorso, questa linea alpina a scartamento ridotto ricade in territorio ticinese elvetico.

Le linee soppresse erano certamente obsolete dal punto di vista tecnologico. I costi di esercizio si dilatavano poiché l’automazione degli impianti di segnalamento e sicurezza era ancora lontana. Nessun investimento migliorativo era stato deciso in quanto il loro destino era definitivamente segnato da scelte politiche ispirate a logiche miopi, accecate da un malinteso senso del progresso e dalla libidine del “nuovismo” a tutti i costi. Intanto, nella Confederazione Elvetica, i vecchi trenini di montagna venivano trasformati in silenziosi salotti destinati a servire con efficienza e puntualità le più note località turistiche delle Alpi. Otto di queste località sono state escluse, e continuano ad esserlo, dall’accesso in automobile o autopullman (Zermatt, Saas-Fee, Bettmeralp, Riederalp, Mürren, Wengen, Braunwald, Stoos). Esse sono state indicate con la denominazione di «villaggi senz’auto / ohne auto / sans auto / car free». In queste località, servite da ferro-tranvie o da funivie per mobilità alternativa (non semplici impianti di risalita per soli sciatori!), i turisti sono cresciuti e la crisi del turismo di questi ultimi anni non si è fatta sentire. Se pensiamo che, nell’anno 2008, la ferrovia retica del Bernina ha ricevuto il riconoscimento Unesco di Patrimonio dell’Umanità, dovremmo riflettere seriamente sul valore aggiunto per i siti dolomitici Unesco che ferrovie alpine come quella della Val Gardena, della val di Fiemme, delle Dobbiaco-Cortina avrebbero potuto avere nella risoluzione dei problemi della mobilità sostenibile in termini ambientali, paesaggistici e

d'immagine. Invece, ancora oggi, si discute con argomentazioni da cultura della rottamazione ferroviaria anni Sessanta sulla validità di una nuova ferrovia per le Valli dell'Avisio (Cembra, Fiemme, Fassa). Voglio ancora ricordare l'esempio della Ferrovia della Val Venosta che le Ferrovie italiane dello Stato, con le stesse argomentazioni anacronistiche che umiliano il trasporto locale in nome delle Frecce (rosse piuttosto che argentate), consideravano superata e chiusero all'esercizio nell'anno 1990. Effettivamente, con quel modello di gestione, le ferrovie locali di montagna non avevano futuro. Ma con l'acquisizione della linea da parte della Provincia autonoma di Bolzano la Val Venosta si è dotata, a partire dall'anno 2005, di un servizio efficiente ed ecologico, cadenzato negli orari e all'altezza dei tempi. La frequentazione è subito aumentata a livelli impensabili dopo quel cambio di filosofia gestionale.

Come si vede, tutto si riduce ad una questione culturale non astratta, anzi concretamente misurabile in termini economici nel senso vero della parola "economia" (che include le valutazioni sociali ed ambientali) e non in asettici conti ragionieristici. Con la stessa miopia, negli ultimi anni la mannaia anti-ferroviaria si è fatta sentire in alcune Regioni del nord Italia come Piemonte e Veneto. Queste due Regioni, infatti, con il pretesto dei tagli alla spesa pubblica hanno inferto duri colpi al trasporto regionale su rotaia peggiorando la qualità della vita degli abitanti. Negli ultimi tre anni l'amministrazione regionale piemontese ha sospeso il servizio su ben tredici linee ferroviarie. Dopo una grande mobilitazione fra utenti del treno e frequentatori della montagna si è riusciti in extremis – ma con due sole corse al giorno di andata e ritorno (bell'esempio di ipocrisia istituzionale) - a salvare nel nuovo orario 2013/2014 il servizio sulla ferrovia transfrontaliera alpina del Colle di Tenda. Questa linea collega, con opere di ingegneria straordinarie, la città di Cuneo con le riviere di Ventimiglia e Nizza, nel cuore delle Alpi Marittime. Va detto, per i lettori trentini, che questa linea era stata distrutta dalla ritirata dell'esercito tedesco alla fine della seconda guerra mondiale ed è stata ricostruita e riattivata nell'estate 1979 grazie ad una convenzione internazionale fra Italia e Francia su insistente richiesta delle popolazioni locali. Sarà inevitabile che, con due sole corse di treni in salita e due in discesa, si registreranno presto flessioni di traffico tali da poter poi sbandierare

l'anti-economicità della linea. Anche in questo caso, come vedremo successivamente per il Trentino e le Dolomiti, gli Svizzeri proposero di sostenere economicamente l'attivazione di un collegamento fra Berna e Nizza (via Sempione-Tenda) che già esisteva prima della guerra. Proprio riguardo all'interesse svizzero per i collegamenti intra-alpini in chiave di mobilità dolce, una recente proposta rossocrociata intenderebbe promuovere un collegamento fra Sant-Moritz e Venezia attraverso le Dolomiti. Volendo sottolineare come le grandi lezioni in materia di governo del territorio montano ci provengano dai Paesi d'oltralpe e dalle loro culture nonché dal Trentino e dal Sudtirolo, che da quelle culture discendono per storia e tradizione, si propongono qui di seguito alcuni esempi di linee ferroviarie di montagna.

3.1 La Ferrovia del Semmering

La ferrovia del Semmering è una parte del tracciato della linea ferroviaria austriaca meridionale ed è comunemente ritenuta la prima ferrovia di montagna, in riferimento alle enormi difficoltà date dal territorio in cui è costruita e dalle grandi differenze di altezze superate. Lunga circa 41 chilometri coprendo un dislivello di circa 460 metri essa collega la città di Gloggnitz e, attraverso il passo del Semmering che dà il nome all'intero tracciato, arriva a Mürzzuschlag. Fu la prima ferrovia di montagna d'Europa a essere costruita con lo scartamento ferroviario normale ed è tuttora impiegata dalle ferrovie austriache.

Fu costruita fra il 1848 e il 1854, e lungo il suo percorso vi sono 14 gallerie (tra le quali una lunga 1.431 metri), sedici viadotti (alcuni dei quali a due piani) e più di 100 ponti (in pietra o di ferro). Il 60% del percorso della ferrovia del Semmering affronta dislivelli con pendenze comprese fra il 20 e il 25 per mille^[1], e per quasi l'intera sua lunghezza il treno viaggia in curva, con raggi di curvatura spesso inferiori ai 200 metri. Le mura di contenimento costruite lungo il percorso, le stazioni e gli edifici di servizio furono costruiti utilizzando il materiale di scarto estratto dagli scavi delle gallerie.

Un grande problema con cui si ebbe a che fare quando si costruì la ferrovia era il fatto che, con i mezzi a disposizione in quell'epoca, risultava impossibile ottenere misure precise da utilizzare nei disegni e nei progetti di realizzazione dell'opera. Per risolvere questo problema si dovettero sviluppare nuovi metodi e nuovi strumenti di misura. Per la costruzione dei viadotti e delle gallerie furono impiegati circa 20.000 lavoratori per sei anni, e all'epoca il risultato, sia dal punto di vista organizzativo che tecnico, venne salutato come un grandissimo successo.



Fig. 19 – Tracciato della ferrovia del Semmering

La ferrovia del Semmering, fin dalla sua costruzione, fu salutata come un'opera di "architettura del paesaggio", intendendo con questo la felice armonizzazione di tecnologia e natura che offriva un'esperienza di viaggio unica. La ferrovia apriva al turismo gli scenari naturalistici del Semmering, ragione per cui in pochi anni vennero costruite numerose abitazioni e alberghi. All'inizio del XX secolo l'area conobbe un enorme sviluppo anche come meta per gli appassionati di sport invernali, ma tutto questo si interruppe con lo scoppio della Prima guerra mondiale, anche se fu grazie a ciò che il paesaggio naturale e culturale si mantenne intatto per i decenni successivi.

Nel 1998 la ferrovia del Semmering è stata iscritta nell'elenco dei patrimoni dell'umanità dell'UNESCO.

3.2 La Ferrovia della Stubaitalbahn o Tranvia di Innsbruck

La ferrovia della Stubaital (in tedesco: Stubaitalbahn) è una linea a scartamento metrico dell'Austria (Austria-Tirolo) oggi esercita come tranvia urbana ed extraurbana. Essa 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.





Fig. 20-21-22 – Immagini del percorso urbano ed extraurbano della Stubaialbahn. Fonte: <http://www.alpenbahnen.net/html/stubaialbahn.html>.

3.2.1 Caratteristiche

La Stubaialbahn è una linea dalle caratteristiche prettamente tranviarie, a scartamento ridotto, elettrificata ed utilizzata oggi da rotabili di tipo tranviario tra Innsbruck e Fulpmes in Tirolo. La sua lunghezza è di 18,3 km, raggi minimi di 40 m, acclività massima del 46 per mille. Il suo percorso si sviluppa per il 70% in curva. Le opere d'arte non sono moltissime e fra esse va citato il famoso ponte di ferro di Kreith con un'altezza massima di 30 m costruito con il sistema Trestle.

Nel percorso cittadino di Innsbruck, usa le locali rotaie del Tram. Alla stazione della Stubaial, inizia il tronco extraurbano. Il percorso 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 Stubaial 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, che ha 3 binari e la rimessa.

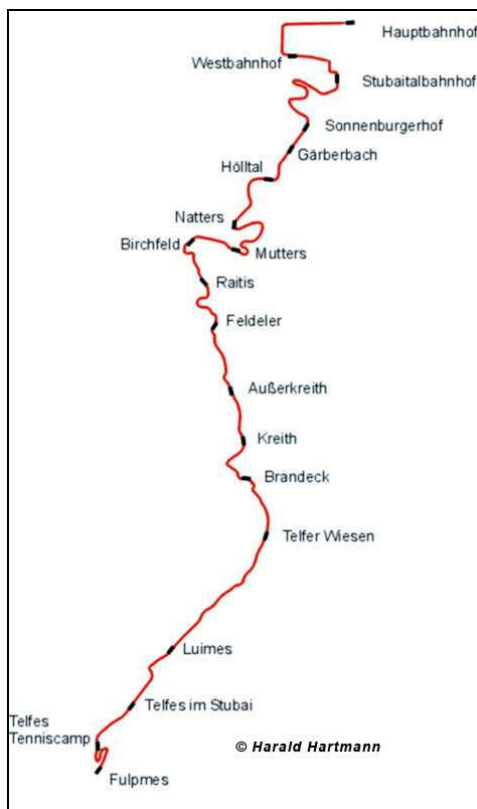


Fig. 23 – Percorso della ferrovia Stubaitalbahn. Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stubaitalbahn_Strecke.svg.

A Fulpmes (mt. 1000 slm) già si raggiungono i campi da sci ma se i passeggeri volessero salire ulteriormente potrebbero proseguire con una teleferica fino ad arrivare a 2300 m. Questa zona non è molto lontana dal confine italiano ed è visibile dall'autostrada del Brennero.

3.2.2 La 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 Matri innestandosi quivi 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 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. Essa fu la prima linea al mondo alimentata in monofase ad alta tensione. 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)¹⁶.



Fig. 24 – Foto risalente ai primi anni di funzionamento della struttura. Fonte: http://www.alpenbahnen.net/html/innsbruck__hist__.html

Come tutte le tranvie (o ferrovie) di quell'epoca, dopo una partenza alla grande, l'impianto subì un lento ma inesorabile declino in concomitanza con lo sviluppo della motorizzazione. Questa crisi che si acutizzò negli anni '60, produsse ovunque una vera strage. Per non andare troppo lontano, si pensi alle "nostre" ferrovie dolomitiche scomparse praticamente tutte. Fortunatamente la Stubaitalbahn riuscì ad essere salvata grazie anche alla decisione dei sindaci della valle che fecero quadrato di fronte alle crisi che ciclicamente ricorrevano. La ferrovia tuttavia negli anni aveva pur subito vari aggiornamenti con un rinnovo continuo del sistema di alimentazione nonché del materiale rotabile. Alla fine

¹⁶ Wikipedia: http://it.wikipedia.org/wiki/Ferrovia_della_Stubaital.

degli anni '70, s'incominciò a parlare con insistenza della conversione dell'alimentazione alla corrente continua a 840 V¹⁷.

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 lusinghieri risultati della prova portarono alla trasformazione definitiva degli impianti collegati ad un percorso urbano fino alla stazione centrale delle ÖBB, a partire dal 2 luglio 1983, all'introduzione dell'orario cadenzato e all'acquisto di materiale rotabile moderno¹⁸. Nel 1983 con l'ampliamento del tratto urbano e la condivisione con la rete tramviaria di Innsbruck la tensione fu portata a 850 V in continua¹⁹.

3.3 La Ferrovia del Bernina, il Trenino Rosso

La Ferrovia del Bernina (in tedesco Berninabahn), detta anche Il Trenino Rosso del Bernina, è una linea ferroviaria di montagna, a scartamento metrico (1000 mm), che congiunge la città di Tirano, in Italia, con la svizzera, presso Sankt Moritz.



¹⁷ Tramvetti: <http://tramvetti.blogspot.it/2007/01/stubaitalbahn-innsbruck.html>.

¹⁸ A. Ditterich, A. Muratori, La Stubaitalbahn in "La ferrovia del Brennero", 2ª parte, pagg. 86-92, Mondo Ferroviario, 1993.

¹⁹ Tramvetti: <http://tramvetti.blogspot.it/2007/01/stubaitalbahn-innsbruck.html>.



Fig. 25-26-27 - Foto panoramiche della Ferrovia del Bernina in vari tratti del percorso ferroviario. Fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/Ferrovia_del_Bernina.

La linea è percorsa da treni regionali a cadenza oraria, che effettuano servizio da Tirano a Sankt Moritz, e dal prestigioso Bernina Express, un treno espresso turistico in servizio da Tirano a Coira.

3.3.1 Caratteristiche

Il Bernina Express, quale tratta ferroviaria più alta delle Alpi, collega il Sud ed il Nord dell'Europa, in un modo a dir poco spettacolare. La tratta ferroviaria si estende per 61 km di lunghezza e si inserisce armoniosamente nel grandioso paesaggio montano. 55 gallerie, 196 viadotti e pendenze fino al 70 per mille che il trenino rosso supera con nonchalance – e senza cremagliera – sino all'Ospizio Bernina, a quota 2253 metri.

Grazie a questa struttura natura e cultura si fondono in un tutt'uno, per dar vita al più affascinante dei viaggi di scoperta delle Alpi. Una vera e propria scoperta delle montagne, resa perfettamente godibile dal treno panoramico del Bernina. Attraverso il viadotto elicoidale di Brusio, l'intera magnifica tratta che, passando per la Valposchiavo, si inerpicava fino ad un'altezza di 2200 metri sul livello del mare, con il Trenino Rosso è possibile salire ancora più in alto, sfiorando i possenti ghiacciai del massiccio del Bernina. Al Lago Bianco i passeggeri possono ammirare l'imponente vastità del paesaggio alpino. Successivamente, dopo aver superato il tunnel dell'Albula, il viaggio prosegue in discesa fra spettacolari manufatti con tunnel elicoidali e percorsi a serpentina fino al viadotto della Landwasser, che sbucando dal tunnel attraverso la parete rocciosa a picco sembra condurre nel nulla. Ma ecco che, poco dopo, appare il viadotto di Solis, che con i suoi 90 m d'altezza attraversa un nuovo precipizio. Il treno parte da Coira, la città più antica della Svizzera, e attraversa la regione a più alta densità di castelli e fortezze di tutta Europa. L'intera tratta si snoda dunque attraverso magnifici paesaggi punteggiati di capolavori dell'arte ingegneristica²⁰.

²⁰ Rhb Ferrovia retica: <http://www.rhb.ch/Bernina-Express.1676.0.html?L=1>.

3.3.2 *La Storia*

Costruita fra il 1906 e il 1910 a scopo turistico, la linea raggiunge con ardite opere di ingegneria ferroviaria un'altitudine massima di 2.253 m, ed è pertanto la più alta ferrovia ad aderenza naturale delle Alpi, oltre che una delle più ripide al mondo (raggiunge una pendenza massima del 7%).

Essa fu studiata sin dall'inizio per venire incontro alle esigenze del trasporto sia civile che turistico, in modo da permettere ai turisti, che già all'inizio del '900 cominciavano ad arrivare su queste montagne, di visitare l'intero territorio da Tirano al Bernina, osservandone dal finestrino le caratteristiche più importanti.

Ed è infatti già dal 1911 che la funivia, inizialmente progettata per un funzionamento solo estivo, è utilizzata anche nel periodo invernale, grazie all'adozione di apposite soluzioni tecnologiche per proteggere i binari dalle valanghe, in modo da permettere così di portare i turisti dalla Val Tellina alle località sciistiche e turistiche della Svizzera, come St Moritz, capolinea della ferrovia opposto a Tirano, portando dai 429 m di quest'ultimo sino ai 1775 m di altitudine della cittadina svizzera.

Il 1° luglio 1908 venne inaugurata la tratta Tirano-Poschiavo Pontresina-Morteratsch, il 18 agosto il tratto Pontresina-Celerina e, successivamente, nel luglio 1909 Celerina-St. Moritz Morteratsch-Bernina Sout e nel luglio 1910 Bernina Sout-Poschiavo.

Fu gestita inizialmente dalla società Bernina-Bahngesellschaft (BB), per passare nel 1943 alla Ferrovia Retica (RhB).

La ferrovia del Bernina, insieme alla vicina linea dell'Albula, è stata inserita il 7 luglio 2008 nella lista dei patrimoni dell'umanità dell'UNESCO, come esempi tecnicamente avanzati di gestione del paesaggio di alta montagna e come ferrovie a scartamento ridotto più spettacolari del mondo²¹.

²¹ Wikipedia: http://it.wikipedia.org/wiki/Ferrovia_del_Bernina.



Fig. 28 – Mappa del percorso ferroviario del Trenino Rosso. Fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/Ferrovia_Trento-Mal%C3%A8-Marilleva.

3.4 La 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.

Questa linea, oltre ad essere utilizzata molto nella stagione estiva per il carico di ciclisti con le loro biciclette, viene usata pure nella stagione invernale dagli sciatori, che vogliono agevolmente accedere al carosello sciistico di Campiglio.

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

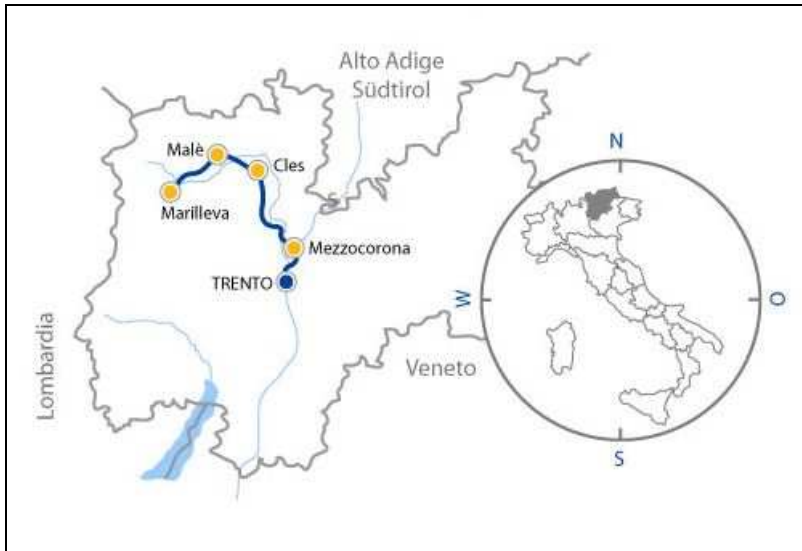


Fig. 29 – Mappa del percorso della Ferrovia Trento- Malè-Marilleva. Fonte: <http://www.ttspa.it/divisione-ferrovia>.



Fig. 30 - La ET007 sulla Trento-Malè nel 2003. Fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/Ferrovia_Trento-Mal%C3%A8-Marilleva.



Fig. 31 - ET 18, ETi 403. Fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/Ferrovia_Trento-Mal%C3%A8-Marilleva.

L'offerta di corse per il servizio passeggeri prevede treni "locali" e "diretti"; questi ultimi fermano solo nelle principali località. Sono previste inoltre corse extra sulla tratta Trento-Mezzolombardo.

La linea è priva di servizio merci dagli anni novanta.

3.4.1 Caratteristiche

La linea costruita negli anni cinquanta è una ferrovia a binario singolo a scartamento ridotto da 1000 mm (metrico). La trazione è elettrica a 3000 volt in corrente continua. Le rotaie sono di tipo Vignoles da 50 kg/m, posate su traverse biblocco système Vagneux con attacchi Nabla.

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.

Il tracciato ha una pendenza massima del 50 per mille, mentre il raggio di curvatura minimo è di 80 metri. Presenta ventitré ponti, il più lungo dei quali misura 456 m. Il ponte di Santa Giustina, sul greto del Noce è lungo 78 metri ed

alto 140 metri. È stato realizzato nel 1959 ed all'epoca era il più alto ponte ferroviario del mondo.

Le gallerie sono 12, per una lunghezza totale di 4710 m. Vi sono 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. Lungo il percorso sono presenti 21 stazioni e fermate. La velocità massima dei convogli è di 90 km/h.

3.4.2 La 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'Anania. La concessione per la costruzione di una Lokalbahn (ferrovia locale) fra Trento e Malè fu firmata dall'imperatore Francesco Giuseppe nel 1905 e fu pubblicata alla Società per la ferrovia locale Trento-Malè. Il capitale di questa società era finanziato dal comune capoluogo e da quelli delle valli trentine che sarebbero state interessate dai lavori. La costruzione della linea cominciò nel 1907.

La Tranvia (1909-1961)

La Localbahn era una tranvia interurbana a scartamento metrico, elettrificata a 800 volt in corrente continua.

Il 14 settembre 1909 fu aperto il tronco Cles – Trento, mentre l'11 ottobre fu inaugurata l'intera linea. L'esercizio del servizio passeggeri e merci fu affidata dalla società concessionaria alle Imperial Regie Ferrovie Austriache dello Stato (KKStB). Il tracciato era lungo 60 chilometri di cui ben 43 in sede promiscua e 17 in sede propria. Negli attraversamenti dei centri abitati, i raggi di curvatura erano spesso inferiori a 100 metri.



Fig. 32 – Foto della vecchia stazione di Lavis nei primi anni di esercizio della Tranvia. Fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/Ferrovia_Trento-Mal%C3%A8-Marilleva.

Nel 1918, 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 1934 chiuse 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.

La tranvia era una linea interurbana con scartamento metrico da 1000 mm. In sede propria furono impiegate rotaie Vignoles, lunghe 9 m e poggianti su traverse di legno, mentre su sede stradale furono utilizzate quelle di tipo Phoenix, lunghe 12 m.

Le curve che avevano un raggio inferiore a 51 m erano tutte dotate di controrotaia. 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 alla stazione di Mezzocorona sulla linea del Brennero.

Da Trento, la linea tranviaria iniziava presso la stazione di Trento Torre Verde, ubicata presso la via omonima e piazza Silvio Pellico. Il tracciato percorreva quindi le vie Manzoni e Vannetti, presso la quale si trovava la stazione di Trento Scalo, dotata di rimessa ed officina. Il tracciato proseguiva quindi sulla strada statale 12 in direzione di Bolzano e, uscendo dalla città, giungeva a Gardolo, a Lavis e a Pressano dove era situata la prima sottostazione elettrica.

Poco prima di San Michele all'Adige, la tranvia superava l'Adige grazie ad un ponte in sede propria. Poco prima di Grumo, inoltre, attraversava a raso e su sede stradale la ferrovia del Brennero. Nei pressi della stazione di Mezzocorona era posta una stazione del tram. Il percorso della tranvia entrava quindi nel centro di Mezzocorona e successivamente proseguiva per Mezzolombardo, attraversando il Noce sopra un ponte. Il tratto tra la periferia di Mezzocorona e la stazione tranviaria di Mezzolombardo era in comune con la Feratela, raccordo ferroviario che collegava l'ultimo impianto con la stazione di Mezzocorona della linea del Brennero. Il tracciato in comune fra questa ferrovia e la linea tranviaria era a doppio scartamento a tre rotaie.

Con un percorso su sede stradale, la tranvia passava Ceramica, Sabino, dove era situata la seconda sottostazione elettrica, e Mollaro, portandosi in quota e salendo ancora per giungere a Taio e Dermulo. Presso questa stazione si diramava la linea tranviaria per Fondo e il passo della Mendola, esercita dalla Ferrovia Elettrica dell'Alta Anania (FEAA).

Prima di arrivare a Santa Giustina, il tracciato attraversava nuovamente il Noce sopra un ponte riservato, rinforzato in modo tale da poter permettere il passaggio del tram. Dopo il ponte, il percorso tornava su sede stradale e iniziava la salita

verso Cles. Successivamente, scendendo e salendo di quota, proseguiva verso la località Mostizzolo, nel territorio di Cis, dove si trovava un altro ponte sopra il Noce, anch'esso su sede riservata, e dove era posta la terza ed ultima sottostazione elettrica.

Dopo la stazione di Mostizzolo, la tranvia proseguiva la sua corsa in sede propria, a fianco della strada statale 42, fino a Malè.

La Ferrovia

La Ferrovia Elettrica Trento-Malè (FTM) era intenzionata a trasformare radicalmente la linea tramutandola in una ferrovia, accorciando il tracciato di quattro chilometri e mantenendo 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 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.

3.5 Materiale rotabile e progetti futuri

Il materiale rotabile risulta essere il seguente:

- cinque elettromotrici costruite nel 1964 da Stanga/TIBB, immatricolate nella serie EL 01-05;
- tre elettrotreni costruiti nel 1964 da Stanga/TIBB, immatricolati nella serie ET 11-13. Di questi, l'ET 11 e l'ET 12 sono stati distrutti da un incendio, mentre l'ET 13 risulta accantonato;
- un locomotore costruito nel 1965 da Stanga/TIBB, immatricolato come LC 21;
- due elettrotreni acquisiti nel 1966 dalla dismessa Ferrovia delle Dolomiti, immatricolati nella serie ET 007-008 e costruiti nel 1955 da Stanga/TIBB. Nel 2010, l'ET 007 è stato venduto alla ferrovia Genova-Casella, mentre l'ET 008 risulta accantonato;
- quattro elettrotreni costruiti nel 1995 da Casaralta/Ansaldo, immatricolati nella serie ET 15-18;
- quattordici elettrotreni costruiti a partire dal 2005 da Alstom, immatricolati nella serie ETi 8/8 401-414.

Il progetto preliminare relativo al prolungamento della linea nel territorio del comune di Mezzana è stato approvato. È inoltre previsto un ulteriore prolungamento fino a Fucine. La tratta fino a Mezzana è in appalto nel 2013²².

²² Wikipedia: http://it.wikipedia.org/wiki/Ferrovia_Trento-Mal%C3%A8-Marilleva.

IL TRACCIATO E GLI ELEMENTI CHE LO COMPONGONO

L'attuale linea a servizio della zona cadorina ha le sue radici nella pianura veneta, è a singolo binario, non è elettrificata ed è molto tortuosa ed acclive nel tratto Belluno- Calalzo di Cadore, stazione quest' ultima terminale oltre la quale la ferrovia non prosegue poiché all' epoca della costruzione (dal 1912 al 1914) il confine italo-austriaco si trovava a breve distanza.

Considerate le caratteristiche della linea esistente di cui si è brevemente parlato, si è deciso di mantenere le stesse per il proseguo di tale arteria viaria in maniera tale da realizzare un vero e proprio continuum e sfruttare a pieno senza alcun intervento e quindi senza alcun costo aggiuntivo la stazione di Calalzo di Cadore.



Fig. 33 - Locomotore D445 e convoglio al capolinea di Calalzo.

Discorso a parte è bene fare per l' alimentazione, non solo del tratto oggetto di studio ma anche del tratto esistente; si può pensare di prevedere una linea non elettrificata con tutti gli svantaggi che questa comporta in termini tecnici per quanto riguarda il minor coefficiente di trazione offerto (tab. 2) ,il ridotto comfort offerto ai passeggeri e il notevole inquinamento provocato.

Proporre una linea elettrificata per contro offre maggiore aderenza ,come si può vedere nella tabella sottostante, maggiore comfort, minor inquinamento ma un impatto visivo più marcato e un investimento economico superiore che porterebbe però ad un ammodernamento della linea attualmente esistente.

| Coefficiente di aderenza per superfici asciutte e pulite | | |
|---|------------------------------------|-------------|
| Ferrovia | Trazione elettrica assi accoppiati | 0.25 – 0.30 |
| | Trazione elettrica assi liberi | 0.20 |
| | Trazione Diesel assi accoppiati | 0.20 |
| | Trazione Diesel assi liberi | 0.167 |
| | Trazione a vapore | 0.167 |

Tab. 2 – Tabella con i coefficienti di aderenza in funzione del tipo di trazione

I dati maggiormente vincolanti su un tracciato in area montana riguardano il raggio minimo delle curve qui fissato a 300 metri e la pendenza massima delle livellette che non dovrà superare il 35%.

Come anticipato, lo scartamento cioè la distanza tra i bordi interni delle rotaie misurata 14 mm al di sotto del piano di rotolamento, è fissato a 1435 millimetri (fig. 34).

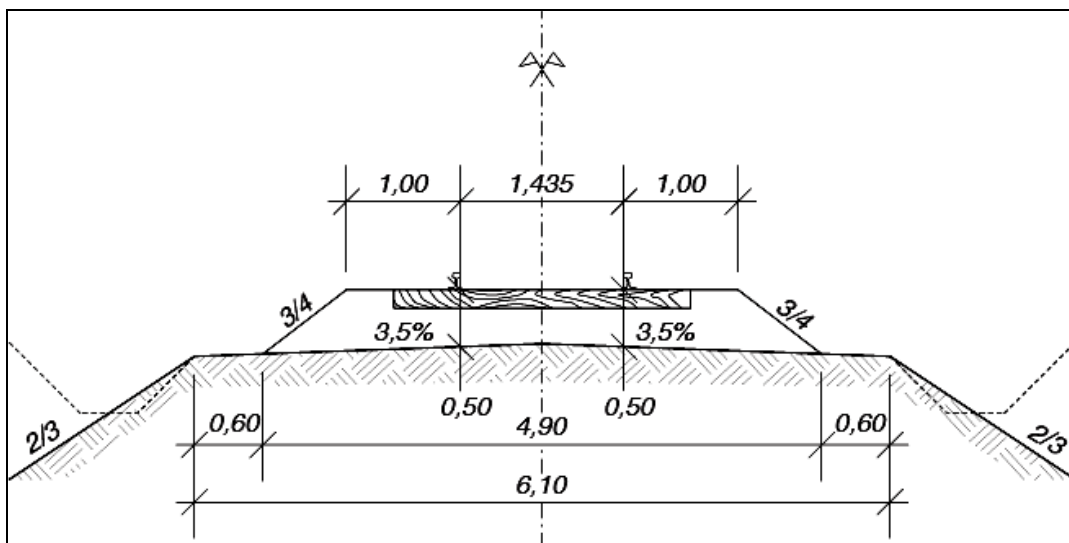


Fig. 34 – Sezione trasversale del corpo ferroviario con relative misure adottate

Il corpo ferroviario proposto per la realizzazione di quest' opera si compone dei seguenti elementi:

- Rotaie: Tipo 50 UNI
- Traverse: di lunghezza pari a 230 centimetri e peso pari a 250 kg
- Binario: struttura costituita da due rotaie collegate alle traverse, su queste avviene la circolazione ferroviaria
- Massicciata: strato di pietrisco con spessore minimo di 35 centimetri a partire dal piano superiore della traversa più bassa.

Nell' andamento altimetrico del binario lo spessore della massicciata rimane pressoché costante, ed è stabilito in funzione del peso assiale previsto e della velocità dei convogli che transiteranno sulla linea.

Ipotizzando quindi un peso assiale di 18-20 tonnellate e una velocità massima di 100 km/h si ottiene per la massicciata lo spessore sopra proposto.

La massicciata verrà stesa su un piano di regolamento che segue non solo l' andamento planimetrico del tracciato ma anche l' andamento altimetrico previsto.

Del corpo ferroviario faranno quindi parte:

- I rilevati, qualora il piano di regolamento debba essere ad un livello superiore rispetto al piano campagna
- Le trincee, per portare la piattaforma ad un livello inferiore rispetto al piano campagna

- I viadotti, aventi lo stesso scopo dei rilevati ma utilizzati per realizzare altezze maggiori
- Le gallerie, usate per portare la piattaforma a profondità sotterranee notevoli.

4.1 Il rilevato

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

La sistemazione del piano di posa per la costruzione del rilevato prevede la preliminare eliminazione dello strato di terreno vegetale, per uno spessore minimo di 20 cm, e di eventuali ostacoli naturali od artificiali.

Si procederà quindi ad un'analisi del terreno per determinarne le caratteristiche geotecniche e l'umidità accertando anche il massimo livello raggiunto dalle acque sotterranee.

Per evitare ristagni di acqua il piano di regolamento dovrà avere una pendenza del 3,5% in senso trasversale, su questo verrà stesa la piattaforma le cui dimensioni sono legate al numero di binari, al loro interasse, allo scartamento e alla sopraelevazione in curva.

Avendo scelto una linea a singolo binario la larghezza minima della piattaforma dovrà essere di 5,50 metri, la sua altezza dipende invece dall'inclinazione delle scarpate, generalmente pari a 2/3, che in realtà è funzione dell'angolo di attrito delle terre di cui il rilevato è costituito.

Le terre devono essere stese a strati successivi con spessore adeguato ai mezzi di addensamento di cui si dispone e comunque non superiore a 50 cm.

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

In questo modo si ha una migliore distribuzione delle sollecitazioni statiche e dinamiche dagli strati più superficiali a quelli più profondi, si incrementa l'

impermeabilizzazione e quindi la resistenza ai cicli di gelo e disgelo, si rende costante l' attrito fra massiccata e piattaforma.

Lungo la linea, affinché non ristagnino le acque meteoriche, deve essere realizzata una cunetta il cui bordo superiore raggiunga il livello della piattaforma (fig. 35).

Qualora il rilevato debba essere realizzato ad una quota notevolmente superiore al piano campagna sarà necessario sostenerlo realizzando i cosiddetti muri di sottoscarpa (fig. 36).

Avendo il tracciato pendenze longitudinali considerevoli la cunetta deve essere rivestita per evitare future erosioni ad opera delle acque scolanti.

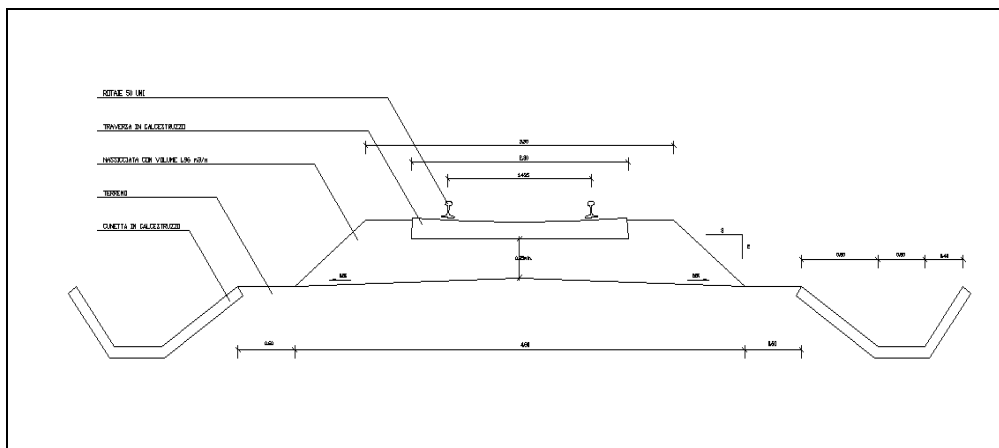


Fig. 35 – Sezione trasversale rilevato ferroviario con cunette

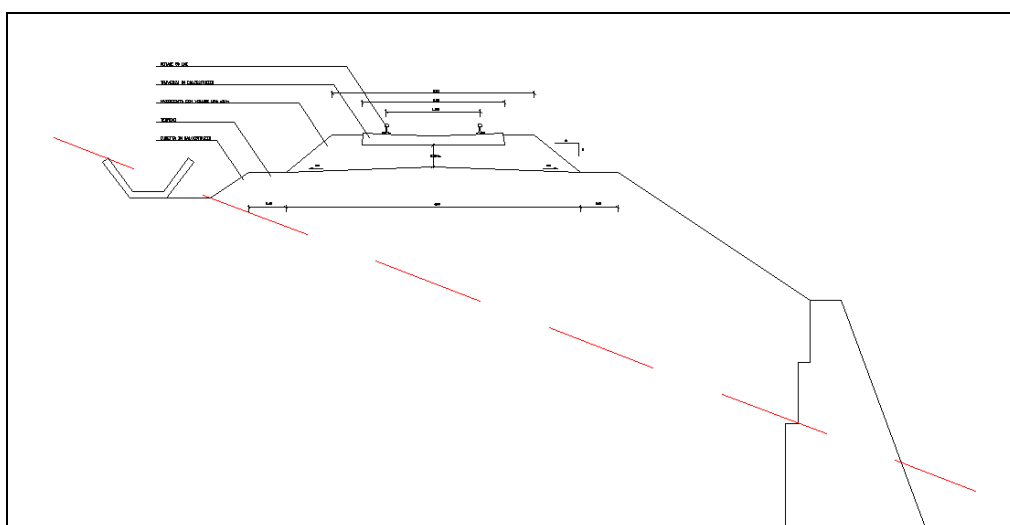


Fig. 36 – Sezione trasversale rilevato ferroviario con muro di sottoscarpa

4.2 La trincea

Le scarpate hanno una inclinazione che è funzione della natura del terreno, si potranno avere quindi scarpate verticali qualora la trincea sia scavata in roccia compatta ovvero scarpate con pendenza 2/3 quando i terreni su cui si lavora siano mediamente consistenti.

In entrambi i casi è bene consolidare le scarpate mediante inerbimento.

Qualora sia necessario ridurre le dimensioni trasversali della trincea si potrà ricorrere alla costruzione di scarpate poco inclinate, sostenendo il terreno con muri di scarpa o di controripa.

Al fine di evitare che la trincea assuma la funzione di incanalamento delle acque superficiali dei terreni che attraversa, a circa 1,5 metri dal ciglio a monte si prevede la costruzione di un fosso di guardia e la realizzazione di cunette su entrambi i lati della piattaforma per allontanare le acque che si incanalano nella trincea (fig. 37).

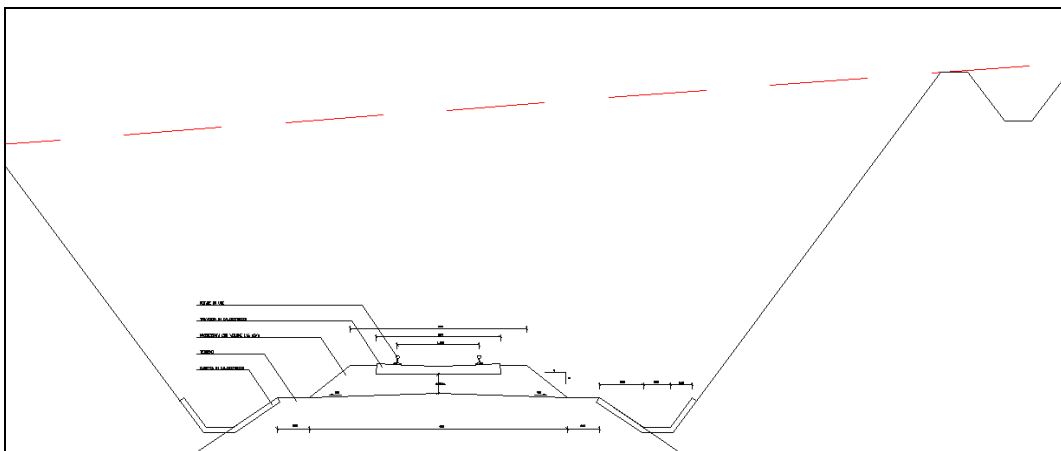


Fig. 36 – Sezione trasversale trincea ferroviaria

4.3 I viadotti

In questo tipo di opere d'arte è possibile distinguere la sovrastruttura e la sottostruttura.

Quest'ultima è costituita dai sostegni verticali e dalle loro fondazioni, dai sostegni intermedi (pile) e da quelli terminali (spalle).

Sulle pile si appoggia la sovrastruttura collegandone le estremità.

La luce in un viadotto è definita come la distanza misurata tra le facce dei piedritti contigui, quindi nel caso in cui il ponte sia sostenuto da più piedritti si parla di ponte a più luci.

I criteri generali seguiti dalle ferrovie italiane per le opere d'arte in c.a.p. e per le strutture miste prevedono la realizzazione dei viadotti mediante travi rettilinee , solidali od appoggiate ai piedritti che costituiscono , nei ponti a più luci , anche un sistema a trave continua.

Per luci inferiori a 4 metri si usa semplicemente un solettone in calcestruzzo armato a sezione rettangolare piena; per luci maggiori volendo contenere il peso e il costo si usano viadotti con trave a soletta collaborante.

Considerata che la linea oggetto di studio è a singolo binario le nervature dei ponti dovranno essere almeno quattro; le travi dovranno essere collegate tra loro in testa e in mezzera con traversi di ripartizione o di campata.

Qualora per lieve differenza tra la quota della livelletta ferroviaria e quella della strada risulti necessario realizzare una struttura portante di spessore ridotto, si realizzerà un viadotto con struttura mista acciaio calcestruzzo.

Per luci tra i 10 e i 25 metri le ferrovie italiane prevedono l' uso di strutture semplici, per luci maggiori fino a 30 o 40 metri prescrivono l' uso di travi a parete piena a doppio T o a cassone.

È necessario inoltre controventare sempre le travi principali nel piano orizzontale e aggiungere nelle travate a passaggio superiore una controventatura in piani verticali perpendicolari alle travi maestre.

Per luci fino a 100 metri e superiori si utilizzeranno travature reticolari del tipo a grandi maglie triangolari.

Nei viadotti in calcestruzzo armato precompresso le ferrovie italiane prescrivono che la sollecitazione massima su tutte le armature ad aderenza migliorata di strutture a diretto contatto con il terreno non deve superare i 1600 kg/cm^2 .

Inoltre non devono essere adottate spalle con rilevato passante, non devono essere adottate soluzioni con sbalzi o del tipo a trave Gerber, in nessuna condizione di esercizio vi deve essere trazione sulle travi in calcestruzzo armato precompresso al fine di evitare fessurazioni che provochino corrosione chimica od elettrolitica delle armature.

È fondamentale che le frecce dovute ai soli sovraccarichi accidentali, considerati applicati staticamente siano limitate ad $1/5000$ data la velocità di progetto della linea in esame.

È da ricordare che gli impalcati devono essere isolati elettricamente tra di loro e dalle pile per evitare il pericolo di correnti vaganti e che tutte le armature del viadotto devono essere collegate con un tondino di ferro portato all' esterno per il controllo periodico di potenziali elettrici.

Qualora si decida di elettrificare la linea i portali di ormeggio della linea di alimentazione elettrica e le piazzole per le apparecchiature intermedie del blocco automatico devono essere posti su apposite strutture, collegate alla sommità delle pile od alle traverse di estremità dell' impalcato.

4.4 Le gallerie

La distinzione principale per queste opere vede:

- Gallerie naturali od a foro cieco
- Gallerie artificiali, convenienti in caso di profondità ridotta

Le parti principali in cui una galleria può essere scomposta sono: la calotta cioè la parte superiore, lo strozzo ovvero la parte rimanente della sezione e i piedritti.

Le macchine odierne come frese e scudi con o senza fanghi bentonitici in pressione permettono di procedere con lo scavo a tutta sezione incrementando notevolmente gli avanzamenti giornalieri possibili.

Diventa così sempre meno difficile realizzare gallerie lunghe senza ricorrere ad attacchi che richiedano l' apertura di pozzi o finestre intermedie.

A rivestimento ultimato nelle gallerie si potranno identificare i piedritti, costituenti il rivestimento laterale su cui si imposta la volta ovvero la calotta; l' arco rovescio previsto soltanto ove vi sia pericolo di rifluimento ; la cunetta, le banchine, le nicchie e i nicchioni di ricovero.

Nelle gallerie è bene se possibile mantenere un andamento planimetrico rettilineo del tracciato, se ciò non è possibile si possono comunque realizzare gallerie in curva elicoidali.

Per le gallerie che si andranno a realizzare si dovrà definire in primis quella che viene detta forma di libero transito o profilo minimo regolamentare.

Entro tale sagoma limite deve rimanere contenuto ogni veicolo comprensivo dei carichi trasportati ed opportuni franchi dagli ostacoli fissi esistenti lungo la linea. Le sagome limite delle ferrovie non sono uguali ma l' Union Internationale des Chemins de Fer ha definito una sagoma limite europea detta Gabarit C.1. (fig.38) cui le varie reti ferroviarie stanno cercando di adattare le proprie gallerie. Si andranno quindi a realizzare secondo tale sagoma le gallerie richieste dal tracciato designato.

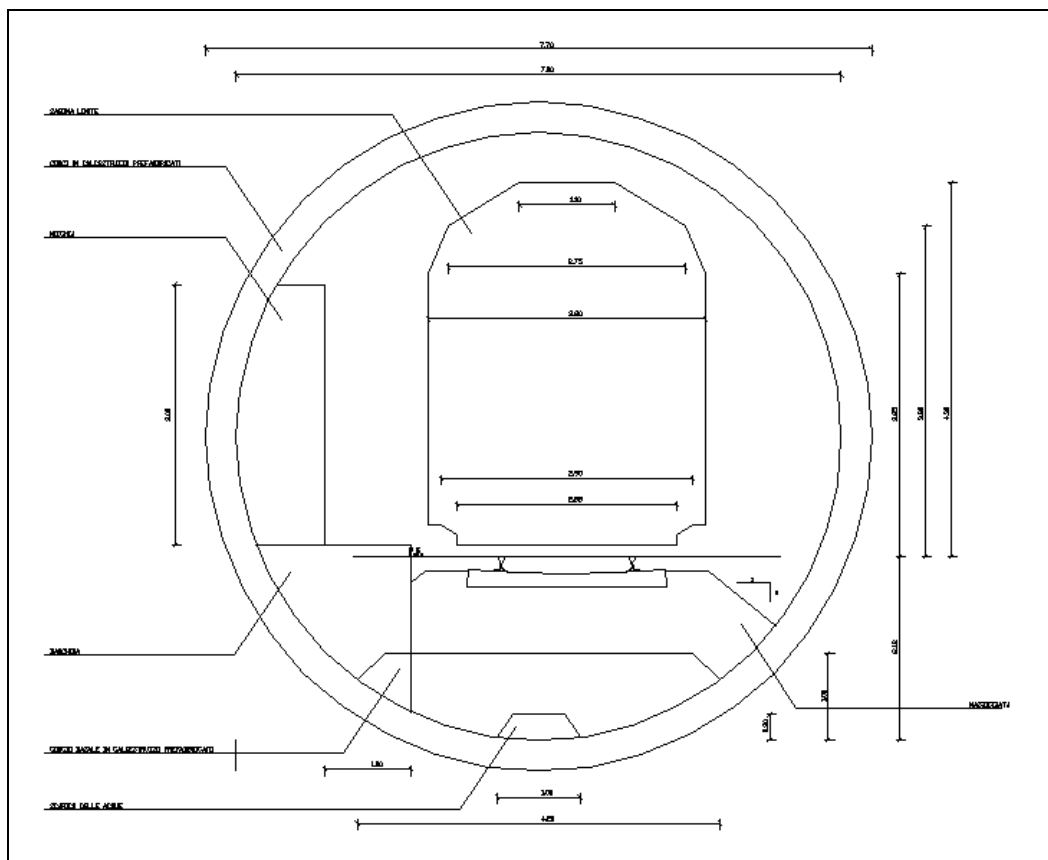


Fig. 38 – Sagoma galleria Gabarit C1

Per ciascuna galleria richiesta dal tracciato proposto sarà necessario prevedervi all' interno una banchina pedonale destinata al personale di servizio che può essere ricavata quale copertura della cunetta.

Non essendo permessa la permanenza di alcuna persona in galleria durante il transito di un treno, nelle pareti delle gallerie si dovranno ricavare delle nicchie contenenti almeno quattro persone.

Trattandosi di una linea a singolo binario le nicchie verranno ricavate ogni 25 metri, su un solo lato della galleria e la loro locazione dovrà essere segnalata da una linea bianca dipinta sulle pareti della galleria ed avente andamento discendente verso l' ingresso della nicchia.

4.5 Materiale rotabile

La scelta della tipologia di materiale rotabile appare importante sia per il raggiungimento di determinati 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 ATR 125 appartenenti alla famiglia GTW 4/12.



Figura 39- ATR 125

Le nuove automotrici, denominate ATR-125 a seguito dell'ammissione tecnica ricevuta dall'agenzia ANSF, sono dotate di 243 posti a sedere e di una toilet attrezzata per l'accesso ai passeggeri con ridotta capacità motoria. Offrono uno spazio interno ampio, luminoso ed accogliente con finestre di grandi dimensioni.

Sono dotate di 4 porte d'accesso di grandi dimensioni per ciascun lato offrendo un facile e rapido imbarco dei passeggeri; inoltre gli ampi vestiboli di accesso sono dotati di un'area polifunzionale per il trasporto di biciclette o altro materiale.

L'equipaggiamento di trazione è costituito da quattro gruppi propulsori Diesel-elettrici, che consentono il recupero dell'energia durante le fasi di frenatura ed una gestione ottimizzata dello sforzo di trazione con elevate accelerazioni nelle fasi di avviamento.

Per la produzione dell'energia primaria vengono impiegati ecologici motori Diesel common-rail a basse emissioni dell'ultima generazione (Euro IIIA).

Veicoli a pianale ribassato, compartimenti viaggiatori climatizzati, carrelli motori e carrelli portanti dotati di sospensioni pneumatiche per un miglior comfort, costi di gestione contenuti ed un semplice sistema di manutenzione completano il quadro di un veicolo ideale per il trasporto regionale sulle tratte non elettrificate.

Di seguito si riportano le caratteristiche principali di tali veicoli:

- Scartamento 1435 mm
- Altezza su piano del ferro: piano ribassato (entrata) 585 mm
pianale con pedana disabili 640 mm
piano rialzato 996 mm
- Larghezza porte di entrata 1320 mm
- Lunghezza tot. ai respingenti 77330 mm
- Larghezza veicolo 3000 mm
- Altezza veicolo (max) 4215 mm
- Massa totale in ordine di marcia 132 t

- Passo del carrello: carrello motore 2100 mm
carrello portante 2100 mm
- Diametro ruote motrici, (nuove) 860 mm
- Diametro ruota portanti, (nuove) 750 mm
- Potenza massima alla ruota 4 x 290 kW
- Sforzo di trazione (fino 47 km/h) 4 x 40 kN
- Velocità massima 140 km/h

4.6 La classificazione delle linee ferroviarie

Le linee ferroviarie sono classificate in base a:

- massimo peso per asse;
- massimo carico per metro ammesso, 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 sottostante:

| 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 |

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 rimorciate giornaliere [tlr/g];
- T_m = carico reale del traffico merci espresso in tonnellate lorde rimorciate 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 ATR 125 e i dati riportati nella tabella sottostante si può calcolare il valore T :

| | |
|---------------|------|
| T_v [tlr/g] | 408 |
| T_m [tlr/g] | 0 |
| V [km/h] | 80 |
| D [m] | 0,75 |
| P [t] | 16,5 |

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

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

| Classificazione delle linee in base al carico fittizio | |
|---|------------------------------|
| Gruppo | Carico fittizio (t/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 |

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.
- 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 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.

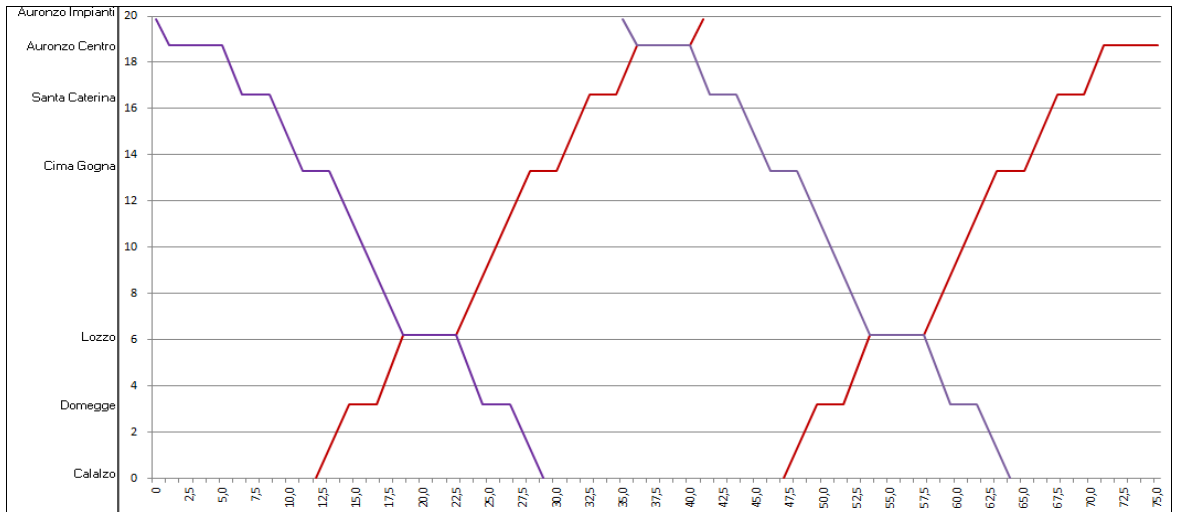
Nella tabella sottostante vengono riportati i valori utilizzati:

| | 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 |

Da questi dati è possibile ricavare il grafico sottostante 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 opposte 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.



Capitolo Quinto

DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

Il tracciato ferroviario ipotizzato si snoda per poco più di 16 km in una zona dalla morfologia molto articolata e ostile a costruzioni di tale genere.

Ciò comporta costi realizzativi molto elevati, basti pensare che la linea è un continuo susseguirsi di gallerie e viadotti.

Tuttavia la linea oltre a fungere da collegamento, alternativo all' automobile, tra Calalzo di Cadore ed Auronzo di Cadore; potrebbe divenire una vera attrazione turistica se si considerano gli scenari naturalistici di pregevole bellezza offerti dai luoghi attraversati dall' infrastruttura.

La declinazione turistica attribuibile a quest' opera appare ancora più chiara se si pensa ad un possibile prosieguo della linea sino a Misurina, ove attualmente i parcheggi per i visitatori delle Tre Cime di Lavaredo sono diventati insufficienti.

L' arteria ferroviaria proposta andrebbe quindi a decongestionare i parcheggi siti in Misurina e quindi anche la cittadina intera e nel contempo potrebbe incrementare ulteriormente il flusso turistico che coinvolge questi luoghi.

Come anticipato l' arteria è un susseguirsi di gallerie e viadotti, il primo dei quali si percorre subito dopo aver lasciato l' attuale stazione di Calalzo.

Tale viadotto lungo 379 metri ed avente una pendenza del 31‰ permette di sovrappassare il torrente Molina.

La linea piega quindi verso ovest e grazie ad una galleria di 960 metri con pendenza 31‰ sottopassa gli abitati di Renaudo e Grea.

All' uscita della galleria un nuovo viadotto di 230 metri introduce la linea in una nuova galleria di 625m che permette alla linea di sottopassare da monte l'abitato di Vallesella.

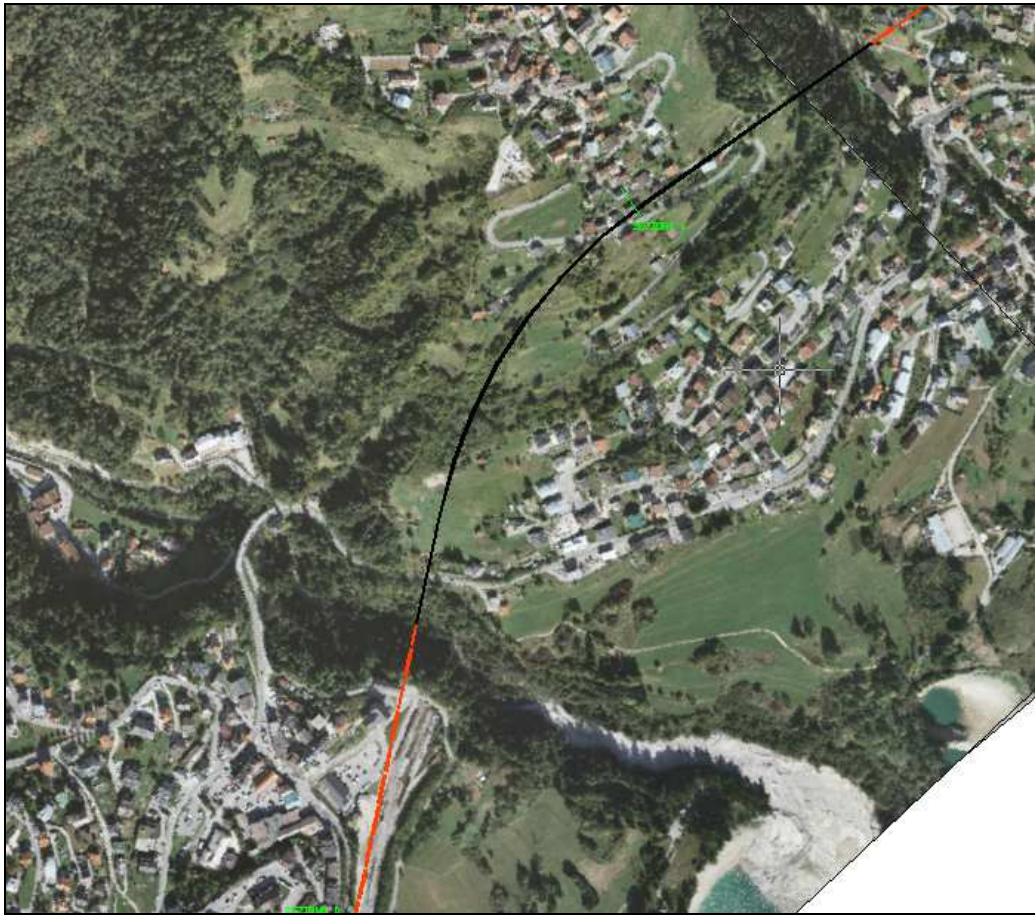


Fig. 40 – Spezzone della linea ferroviaria in esame

Si arriva così alla fermata di Domegge a quota 809 metri ove la linea, come in tutte le altre stazioni e fermate previste, assume pendenza nulla.

La fermata di Domegge è stata posizionata a sud dell' omonimo abitato per favorirne il raggiungimento da parte degli abitanti delle limitrofe frazioni di Grea, Pianzegne e Crodola.

Ripartendo la linea percorre una galleria lunga 2071 metri con pendenza 14% che permette di sottopassare l' abitato di Domegge piegando verso ovest.

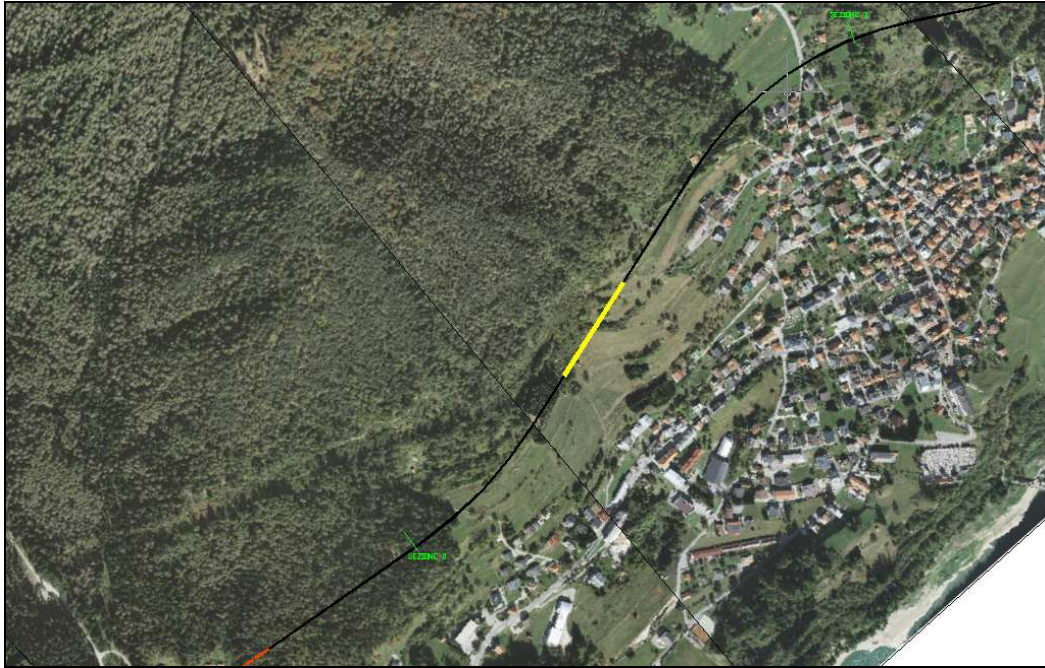


Fig. 41 – Spezzone della linea ferroviaria in esame

Superato l'insediamento abitativo la linea rimanendo nella galleria precedente piega verso est avvicinandosi alla valle del Piave per imboccare poi un rettilineo di 1571 metri parte dei quali sono in galleria, parte su viadotto, e quota parte in superficie.

Il viadotto permette di superare un valle la cui profondità massima è di 29 metri. Al termine del rettilineo il tracciato piega verso ovest ed entra nuovamente in galleria per poter evitare la frana localizzata nei pressi di Lozzo, visibile nell'immagine seguente nell'angolo in alto a destra.



Fig. 42 – Spezzone della linea ferroviaria in esame

All' uscita della galleria un nuovo viadotto di 530 metri permette di superare una vallata molto profonda coprendo un dislivello tra piano campagna e piano del ferro superiore a 72 metri.

Al termine del viadotto si raggiunge la stazione di Lozzo situata ad ovest dello stesso abitato.

Lasciata la stazione la linea piega verso est e percorre 800 metri in superficie ottenuti compensando sterri e riporti.



Fig. 43 – Spezzone della linea ferroviaria in esame

Quindi si ritorna in galleria per altri 1241 metri con una pendenza del 15‰ e si prosegue sul viadotto più importante della linea.

Questo infatti sorregge a 92 metri dal piano campagna, nel punto più profondo, ben 1059 metri di linea.

Al termine del viadotto si raggiunge la fermata di Cima Gogna localizzata a quota 917 metri per evitare la frana che ivi ha avuto luogo.

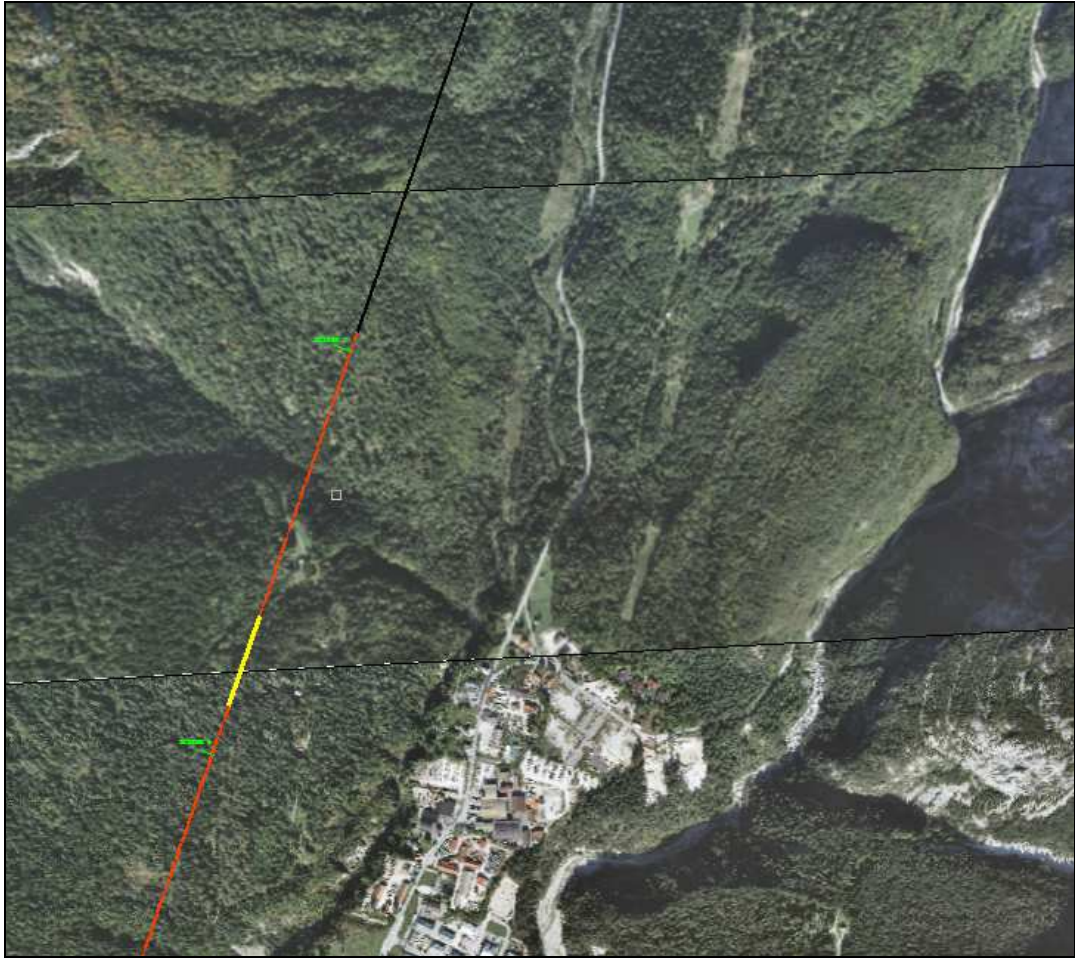


Fig. 44 - Spezzone della linea ferroviaria in esame

Da qui la linea scende con pendenza pari al 24‰ e grazie al susseguirsi di un viadotto di 643 metri, di una galleria di 1280 metri di un breve tratto in superficie e infine di un viadotto di 440 metri che piegano verso ovest si raggiunge la fermata di Santa Caterina sita a quota 848 metri.

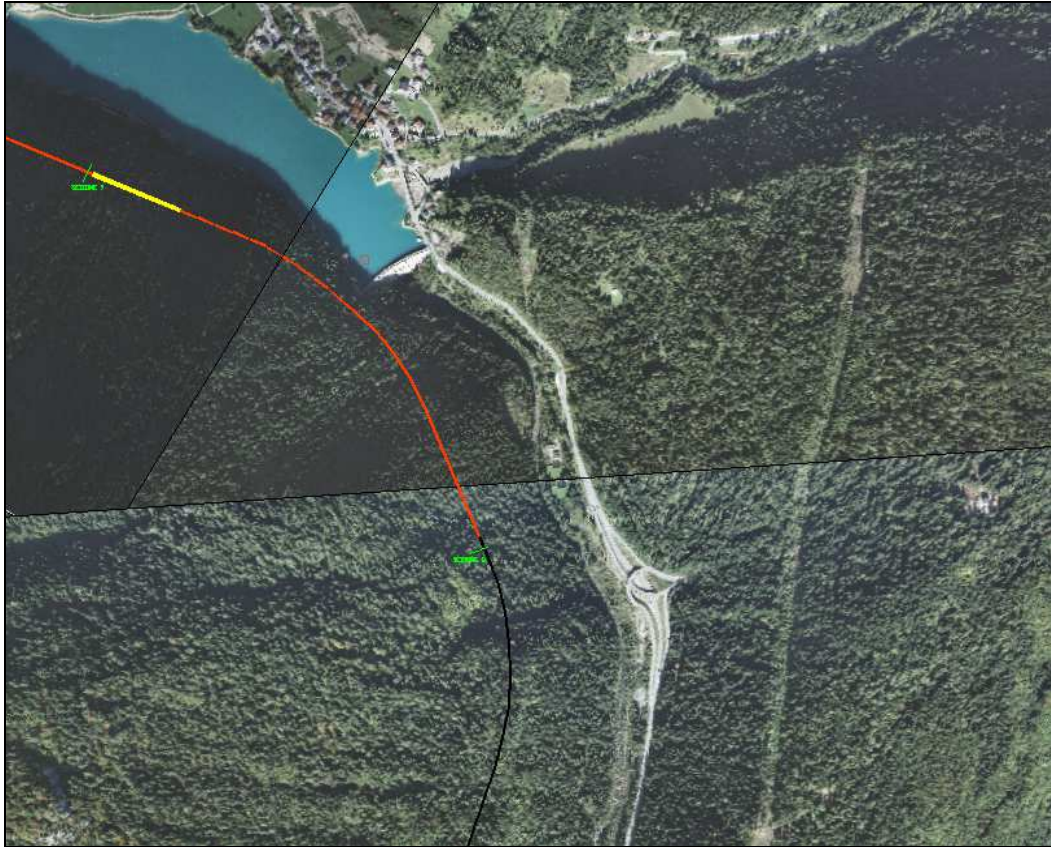


Fig. 45 - Spezzone della linea ferroviaria in esame

Da qui una livelletta con pendenza pari al 25‰ completamente in superficie conduce alla stazione di Auronzo centro localizzata a quota 887 metri, sul lato ovest del lago di Santa Caterina, tra il ponte di Transacqua e quello di Villa Piccola.

Si arriva così all'ultima livelletta avente pendenza pari al 30‰, realizzata completamente in galleria, che permette di raggiungere la stazione finale di Auronzo impianti sportivi sita a quota 911 metri.



Fig. 46 - Spezzone della linea ferroviaria in esame

Non è stato possibile prevedere quest' ultima stazione in superficie considerate le pendenze massime prescritte in campo ferroviario.

In alternativa si può pensare di dotare questo ultimo breve tratto di un sistema di trazione a cremagliera grazie al quale è possibile utilizzare pendenze più elevate e realizzare in superficie anche quest' ultima stazione.

PROVE SUI TERRENI/MATERIALI PRELEVATI IN SITU PER EVIDENZIARE LE CAPACITA' PORTANTI DEL TERRENO

6.1 Analisi granulometrica

I riferimenti normativi per effettuare questo tipo di prova sono le seguenti norme: 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 - 75 - 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 seguente tabella, in relazione alla dimensione massima dei grani presenti.

Tab. I

| 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 |

Fig. 47 – Tabella che relaziona il peso dei provini con la dimensione dei grani del materiale

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 25mm, 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 una 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, (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 ordinata, in scala aritmetica, le percentuali di passante o di trattenuto; in ascissa, 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 sui materiali 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).

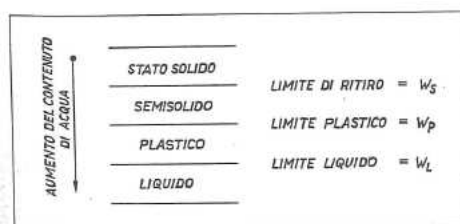


Fig. 48 - Rappresentazione dei limiti di Atterberg

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 7.2.1.2.

6.2.1.1 Apparecchiatura di prova

1) Apparecchio dotato di una coppa in ottone con dispositivo meccanico che consente la caduta ripetuta della coppa su di una base di ebanite dall'altezza di 10 mm (figura 47)

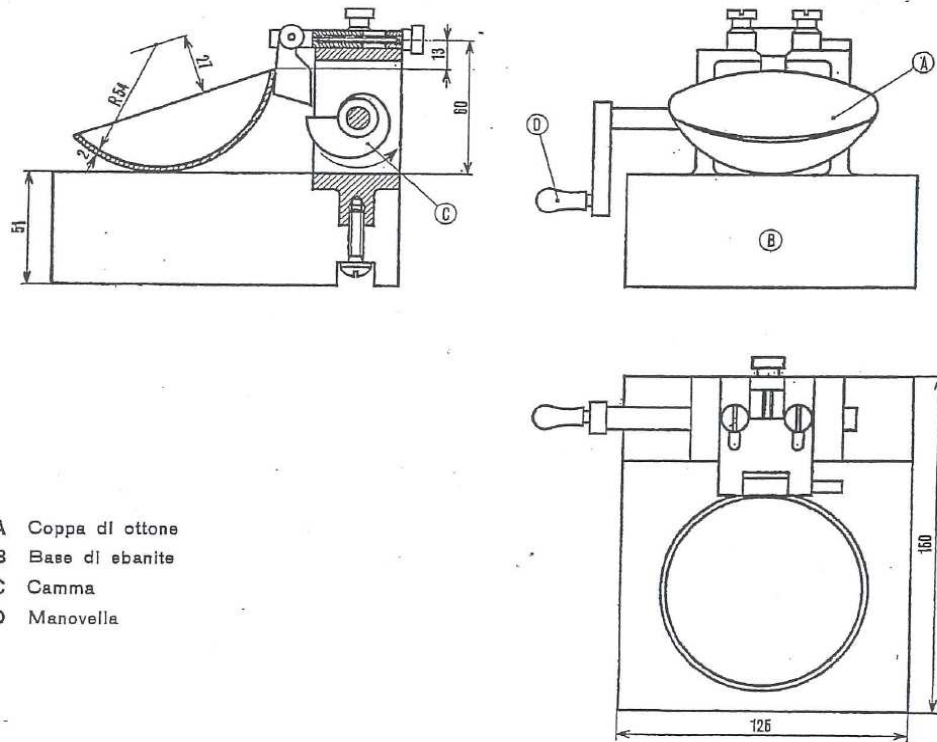


Fig. 49 - Apparecchio di prova.

2) Utensile avente la forma e le dimensioni indicate nella (figura 48).

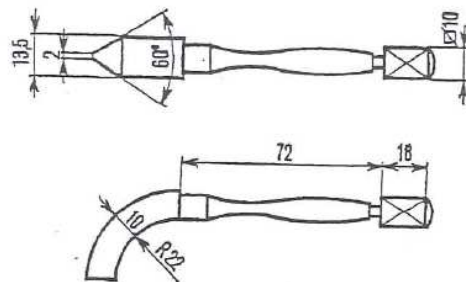


Fig. 50 - Utensile per fare il solco.

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 l'umidità ed in scala logaritmica il numero di colpi, i punti corrispondenti ai 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 7.2.2.2.

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 della mano, essa è ridotta ad un cilindro del diametro di 3mm. Se il cilindro 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 cilindro si rompa in frammenti di 5÷10 mm di lunghezza, occorre ripetere la prova fino a che il cilindro, essiccatosi 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. Massa volumica reale (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 seguente tabella:

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

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, avendo cura 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. Massa volumica apparente (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 mantenere 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 $\pm 0,5$ ° 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;

p₁ 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;

TABELLA 1
Peso specifico dell'acqua distillata (Istituto Smithsonian)

| 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 |

Fig. 51 – Tabella peso specifico dell' acqua

γ_w è la massa volumica dell'acqua distillata e disaerata alla temperatura t , indicata alla Fig. 50.

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 tutte le bolle d'aria.

Si pesa il cestello con il materiale in esso contenuto immerso in acqua. Subito dopo si estrae il cestello dal recipiente, si 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. Massa volumica apparente non addensata (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 $\pm 0,01$ 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 agitare 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 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:

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

Nella quale:

p è la massa del materiale essiccato contenuto nel picnometro

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

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

γ_w è la massa dell'acqua distillata e disaerata alla temperatura t , come da tabella allegata riportante i valori forniti dall' Istituto Smithsonian (fig. 51).

Peso specifico dell'acqua distillata, (Istituto Smithsonian)

| 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 |

Fig. 52 – Tabella peso specifico dell' acqua

6.4 Prova Proctor

Per effettuare questo tipo di prova si fa riferimento all'appendice B della norma UNI EN 13286-2 nella quale viene descritto un metodo di prova per determinare la 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.

La prova si applica generalmente per il controllo ordinario degli strati d' asfalto.

6.4.1 Apparecchiatura di prova

- 1) Stufa in grado di mantenere una temperatura di (110 ± 5) °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 può variare da 4 kg a 6 kg circa.

Il materiale deve essere vagliato secondo la norma 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 tale percentuale è inferiore a 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 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 quantità d'acqua pari all' 1% (in massa) fino a raggiungere il contenuto d'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.

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 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 $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 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: $V = \frac{L}{T}$ 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^2)

n= rapporto di Poisson pari a 0,3

E_D = modulo elastico dinamico (MN/m²)

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 HCR 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 a contatto con le piastre o con 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 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, espressa in Newton per millimetro quadrato (N/mm^2);

- F è la forza massima sostenuta dal provino di miscele legate con leganti idraulici, espressa in Newton (N);
- A_c è l'area della sezione trasversale del provino di miscele legate con leganti idraulici, espressa in millimetri quadrati (mm^2).

Se le dimensioni effettive del provino rispettano una tolleranza pari a $\pm 0,5 \%$ della dimensione designata, R_c deve essere calcolata utilizzando la dimensione designata, altrimenti 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

È necessario 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 mescolando 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) Imbutto 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 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 in percentuale sull'altezza complessiva del materiale flocculato nel cilindro secondo la seguente formula:

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

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 è stato prelevato 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.



Fig. 53 - 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 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.



Fig. 54 - 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.

LOZZO DI CADORE

| Φ setaccio [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 [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 |

Tab. 3 – Percentuali e peso dei passanti ai rispettivi setacci

6) I risultati vengono poi riportati sotto forma di diagramma (Fig. 54 e 55).

Nel diagramma sono riportati in ordinata, in scala aritmetica, le percentuali di passante; in ascissa, in scala logaritmica, le aperture dei crivelli e dei setacci.

I valori ottenuti vengono comparati con quelli di riferimento presi dal capitolato speciale d' appalto per la costruzione di infrastrutture di trasporto del CIRS.

Come si vede nei grafici a seguire i valori di riferimento permettono la costruzione di due fusi granulometrici, uno inferiore di colore blu, e uno superiore di colore rosso, entro i quali deve stare la curva granulometrica ottenuta dai campioni esaminati per poter ritenere accettabile il materiale.

| 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 | | |

Tab. 4 – Valori di riferimento 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).

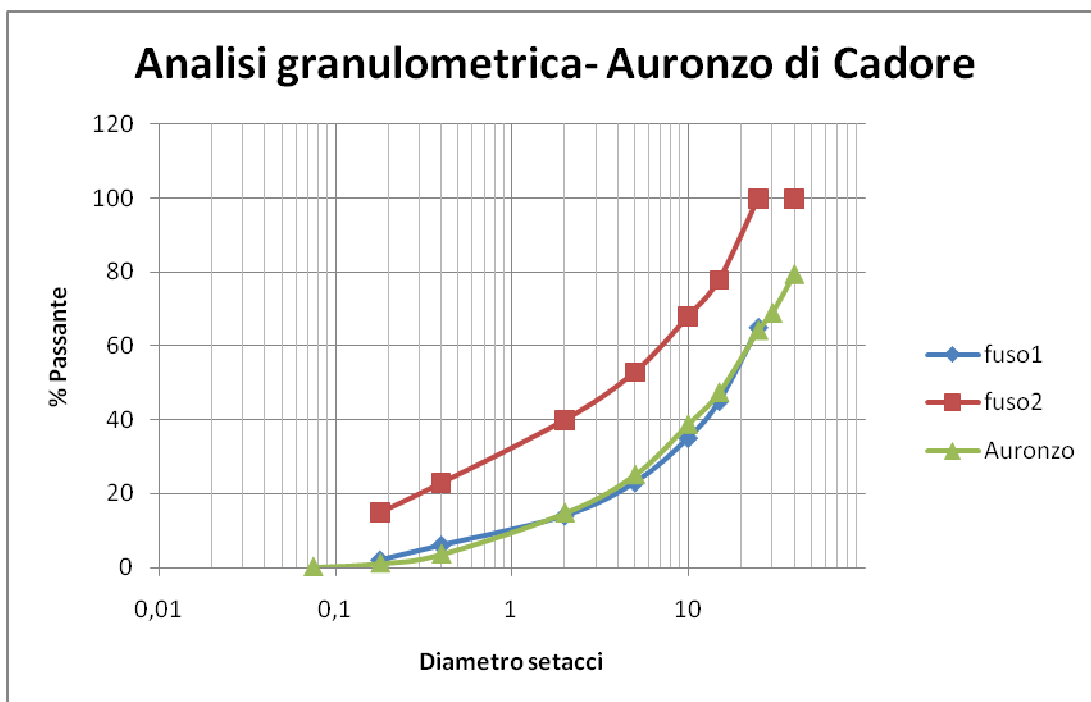


Fig. 55 – Analisi granulometrica del terreno prelevato ad Auronzo di Cadore

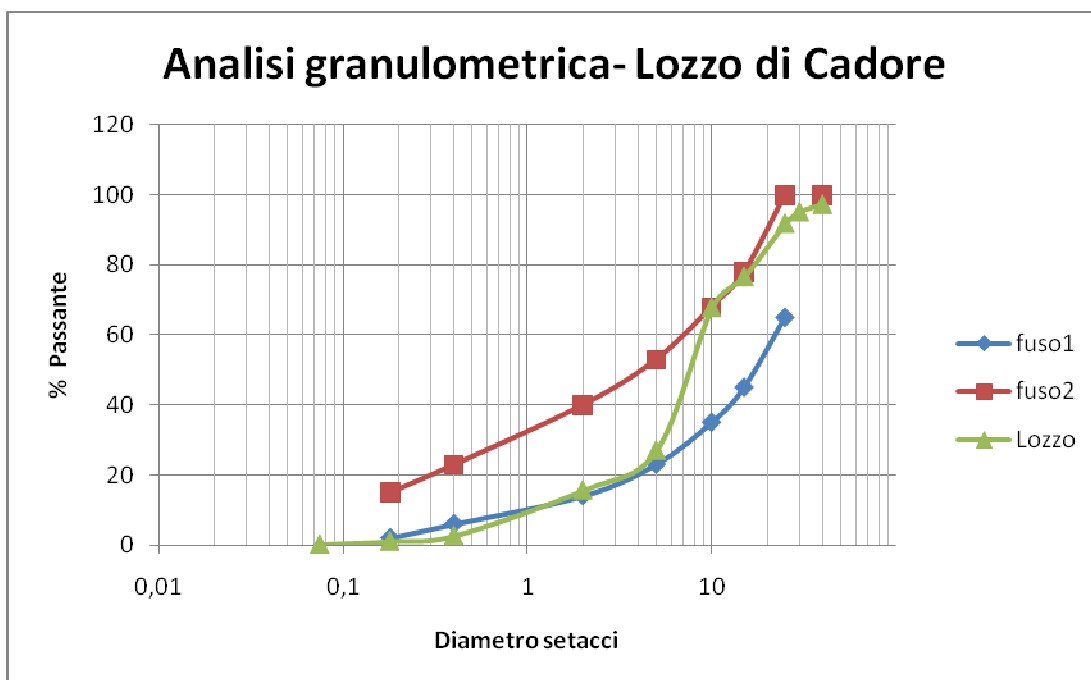


Fig. 56 - Analisi granulometrica del terreno prelevato a Lozzo di Cadore

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 fornisce alcuna informazione sulle caratteristiche dei granuli 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 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 ne è stata 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.



Fig. 57 - Materiale passante al setaccio da 0,475 mm (Auronzo e Lozzo).



Fig. 58 - Cucchiaino di Casagrande.

Il campione è stato successivamente diviso in quattro parti uguali; si è posta una di queste nel cucchiaino 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.

Successivamente, ruotando la manovella, sono stati applicati i colpi necessari per chiudere il solco; quindi è stato estratto un piccolo quantitativo di materiale dal centro della coppa 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, i risultati della prova sono riassunti nelle tabelle sottostanti.

| 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 |

Tab. 5 - Tabella 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 |

Tab. 6 - Tabella determinazione limite liquido Comune di Auronzo.

I risultati sono stati riportati in un diagramma semi-logarimico avente in scala lineare l'umidità ed in scala logaritmica il numero 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 risulta essere rispettivamente per Lozzo e per Auronzo: $w_L=38\%$ e $w_L = 21\%$.

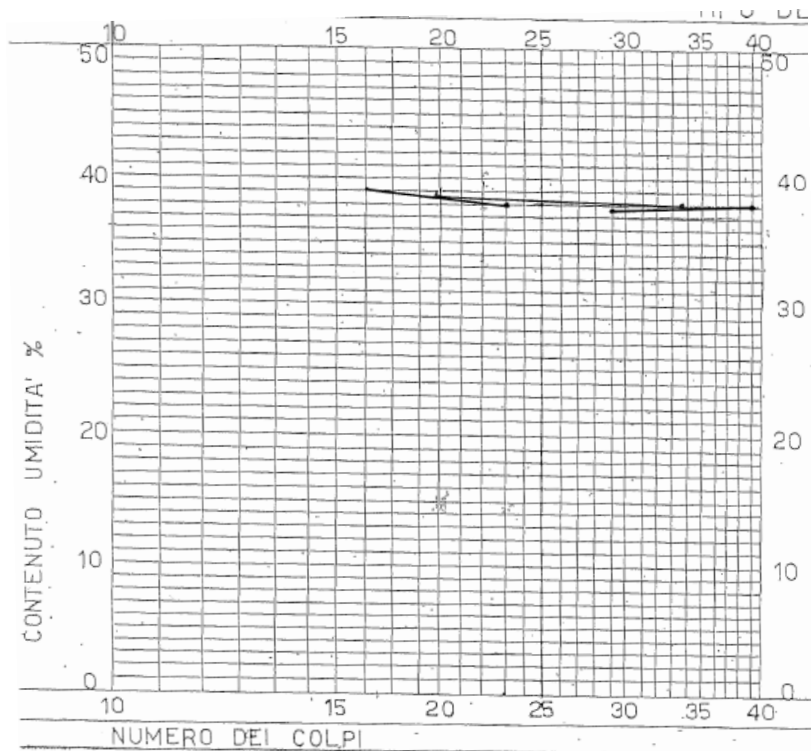


Fig. 59 - Diagramma del limite liquido Comune di Lozzo.

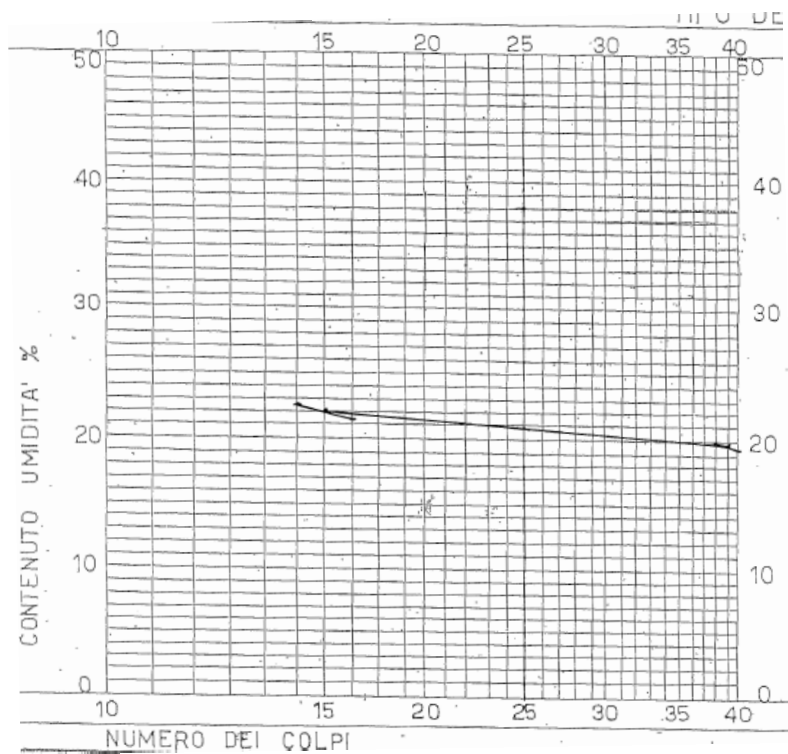


Fig. 60 - Diagramma del limite liquido Comune di Auronzo di Cadore.

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 cilindro del diametro di 3mm. La prova è stata ripetuta due volte finché il cilindro, essiccatosi 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% |

Tab. 7 – Tabella 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% |

Tab. 8 - Tabella 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 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. Massa volumica reale (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 ammucciandolo a formare un cono e rovesciandolo a formare un altro cono; l'operazione è stata ripetuta 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 i 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 mucchio piatto che abbia diametro e spessore uniformi, questo è stato diviso in quarti lungo le diagonali intersecantisi ad angolo retto e si sono riuniti poi due quarti opposti che sono stati utilizzati per l'esecuzione della prova.

Si è 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 $1,02 \text{ g/cm}^3$ per il terreno prelevato a Lozzo di Cadore e un valore pari a $1,1 \text{ g/cm}^3$ per il campione prelevato ad Auronzo di Cadore.

7.3.2. Massa volumica apparente (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 $110 \text{ }^\circ\text{C}$ 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 è stata 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 e 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:

$$\gamma_g = \left(\frac{p}{p - p_2 + p_1} \right) \gamma_w$$

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

| | 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 |

Tab. 9 – Massa volumica apparente dei materiali passanti al crivello da 10 mm

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 questo è stato riempito 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:

$$\gamma_g = \left(\frac{p_3}{p_3 - p_4 + p_5} \right) \gamma_w$$

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

| | 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 |

Tab. 10 – Massa volumica apparente dei materiali trattenuti al crivello da 10 mm

Nota quindi la percentuale di materiale passante al crivello da 10 mm e quella di materiale trattenuto a tale crivello nonché le rispettive masse volumiche apparenti si può determinare la massa volumica apparente del materiale esaminato utilizzando la seguente formula:

$$\gamma = \frac{(\gamma_{g1} \cdot P1) + (\gamma_{g2} \cdot P2)}{100}$$

Nella quale si ha:

- γ , massa volumica apparente (g/cm^3)
- γ_{g1} , massa volumica del materiale trattenuto al crivello da 10mm
- γ_{g2} , massa volumica del materiale passante al crivello da 10mm
- P1, percentuale di materiale trattenuto al crivello da 10mm
- P2, percentuale di materiale passante al crivello da 10mm

La tabella che segue riassume i risultati ottenuti:

| | LOZZO | AURONZO |
|-------------------------------------|-------|---------|
| P1 | 34,6 | 67,15 |
| P2 | 65,4 | 32,85 |
| $\gamma_{g1}(\text{g}/\text{cm}^3)$ | 1,18 | 2,12 |
| $\gamma_{g2}(\text{g}/\text{cm}^3)$ | 2,64 | 2,43 |
| $\gamma(\text{g}/\text{cm}^3)$ | 2,14 | 2,22 |

Tab. 11 – Massa volumica apparente

Considerando che si registra un valore pari a $2,3 \text{ g}/\text{cm}^3$ per la pomice e $3,4 \text{ g}/\text{cm}^3$ per rocce metamorfiche non scistose, si ha come per la massa volumica apparente non addensata una coppia di valori piuttosto bassi dovuti alla distribuzione granulometrica dei due campioni che determina una alta percentuale di vuoti tra i granuli del materiale.

7.3.3. Massa volumica apparente non addensata (CNR 64)

Con questa prova si determina la massa volumica reale dei granuli di un aggregato cioè 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 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ su un campione di 30-50 g di materiale ridotto in polvere che non lascia residuo sul setaccio UNI 2332 da 0,2 mm ed essiccato in forno alla temperatura di $110 \text{ }^\circ\text{C}$.

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 le 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 e se ne è registrato 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 sottostante:

| | LOZZO | AURONZO |
|------------|--------|---------|
| P | 24,3 | 34,3 |
| p_2 | 673,6 | 673,6 |
| p_1 | 688,9 | 694,9 |
| γ_w | 0,9976 | 0,9976 |
| γ_r | 2,69 | 2,63 |

Tab. 12 – Massa volumica reale

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.

Nello specifico il valore della massa volumica reale riscontrato ad Auronzo risulta inferiore poiché è stato possibile prelevare il materiale soltanto in vicinanza del lago di Santa Caterina, in prossimità della prevista stazione di Auronzo Centro. Qui evidentemente vi è un terreno di origine alluvionale in cui si ha la presenza simultanea di ciotoli, ghiaia e argilla.

Per contro, a Lozzo di Cadore è stato possibile prelevare un campione di materiale direttamente dalle pareti rocciose della montagna ove sotto un sottile strato di terriccio si è riscontrata la presenza della dolomia che caratterizza questi luoghi.

7.4 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

Fig. 61 - Macchina per la prova Proctor.

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 prospiciente 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 materiale livellando

accuratamente la superficie della miscela costipata sino al bordo superiore dello stampo utilizzando una riga metallica.



Fig. 62-63-64 – Provini.

Il materiale è stato fatto essiccare per una settimana.

Successivamente per ogni provino sono state misurate l' altezza e il diametro di seguito riportate.

AURONZO

AURONZO (con aggiunta di cemento)

LOZZO

| ALTEZZE | | | ALTEZZE | | | ALTEZZE | | |
|--------------------|--------|----|--------------------|--------|----|--------------------|--------|----|
| h ₁ | 126,50 | mm | h ₁ | 128,17 | mm | h ₁ | 112,42 | mm |
| h ₂ | 125,97 | mm | h ₂ | 128,63 | mm | h ₂ | 111,72 | mm |
| h ₃ | 125,93 | mm | h ₃ | 126,94 | mm | h ₃ | 112,08 | mm |
| h ₄ | 126,41 | mm | h ₄ | 127,52 | mm | h ₄ | 110,21 | mm |
| | | | | | | | | |
| h _{MEDIA} | 126,20 | mm | h _{MEDIA} | 127,82 | mm | h _{MEDIA} | 111,61 | mm |
| DIAMETRI | | | DIAMETRI | | | DIAMETRI | | |
| D ₁ | 151,37 | mm | D ₁ | 151,65 | mm | D ₁ | 150,64 | mm |
| D ₂ | 153,29 | mm | D ₂ | 152,36 | mm | D ₂ | 152,01 | mm |
| D ₃ | 150,65 | mm | D ₃ | 151,88 | mm | D ₃ | 152,25 | mm |
| D ₄ | 153,14 | mm | D ₄ | 151,72 | mm | D ₄ | 152,53 | mm |
| | | | | | | | | |
| D _{MEDIO} | 152,11 | mm | D _{MEDIO} | 151,90 | mm | D _{MEDIO} | 151,86 | mm |
| PESO | | | PESO | | | PESO | | |
| | 4821,2 | g | | 4821,2 | g | | 4821,2 | g |

Tab. 13 – Misure e pesi dei 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, ed è stata loro applicata una leggera pressione. Prima di effettuare le misurazioni è stato spalmato un leggero strato di pasta di contatto sulle facce delle sonde.



Fig. 65 – Misura con strumento ad ultrasuoni mediante 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 nelle tabelle sottostanti:

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 |

Tab. 14 – Valori dei tempi di transito e delle velocità degli impulsi

Dalla misura della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici si è poi 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

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 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 7.6.3):

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

Fig. 66 – Pressa idraulica utilizzata per la rottura dei provini.



Fig. 67 - Rottura provino Lozzo.



Fig. 68 – Rottura provino Auronzo.

I risultati ottenuti rispettivamente per i materiali provenienti da Lozzo, Auronzo (con l'aggiunta di cemento) e Auronzo sono riportati nelle tabelle sottostanti:

| | 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 |

Tab. 15 – Risultati ottenuti dalla prova di compressione

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. Il terreno presente a Lozzo di Cadore è infatti un terreno composto da parti di argille (in sommità) e da parti di roccia (soprattutto Dolomia), il terreno presente ad Auronzo di Cadore è invece un materiale di tipo alluvionale: contiene prevalentemente diverse pezzature di ciottoli calcarei arrotondati e argille; la diversa natura dei due campioni studiati giustifica la differenza di resistenza registrata durante la prova descritta. I valori di resistenza a compressione possono comunque essere ritenuti in linea con quanto richiesto dal Capitolato Speciale d'Appalto del CIRS per la costruzione di infrastrutture di trasporto.

7.7 Equivalente in sabbia

Ai fini della prova una porzione di prova di sabbia e una piccola quantità di soluzione flocculante vengono versati in un cilindro graduato e poi 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 segue:

| 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 $d = 0$ |

Tab. 16 – Classificazione degli aggregati secondo la norma UNI EN 12620

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



Fig. 69 - Macchina agitatrice.

il campione di prova; trascorso tale lasso temporale ciascun cilindro è stato tappato e posizionato sulla 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 è risciacquato 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 sono stati lasciati riposare per 20 minuti, trascorso tale periodo, usando il righello si sono determinate la misura h_1 del livello superiore del flocculato in relazione alla base del cilindro (fig. 68), si è abbassato poi il gruppo stantuffo nel cilindro fino a che il pezzo di testa si è appoggiato sul sedimento, si è posizionato il collare sulla cima del cilindro e lo si è bloccato sull'asta dello stantuffo (fig. 68)

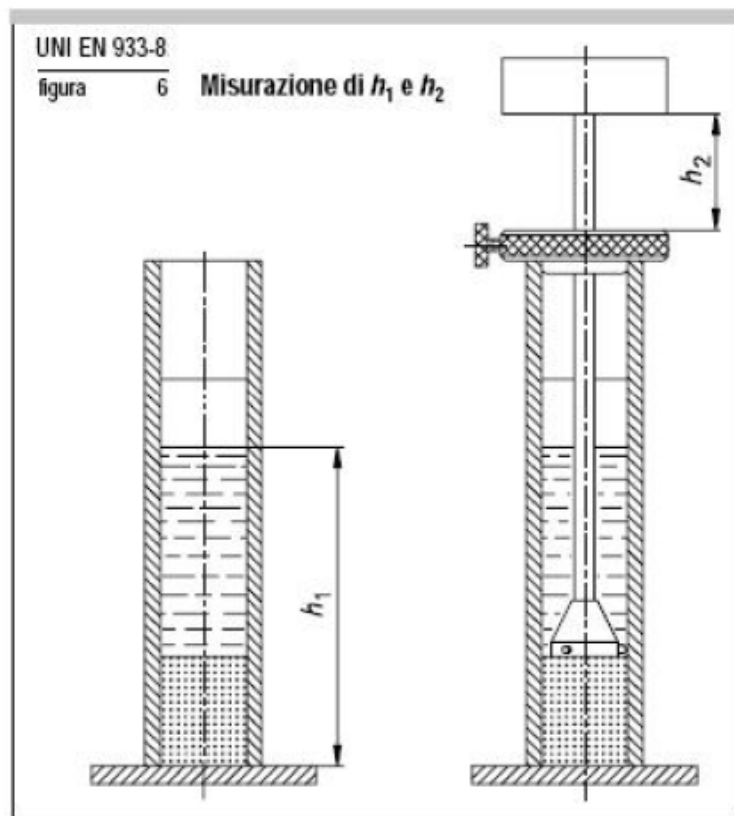


Fig. 70 – Rappresentazione dei valori h_1 ed h_2 da rilevare



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 i seguenti:

Fig. 71 – Cilindro utilizzato per la prova

| | 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 |

Tab. 17 – Valori dell' equivalente in sabbia ottenuto per i campioni analizzati

Calcolando le medie si ricava 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 il 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 16 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.

È però d'obbligo ricordare 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 dal presente studio di prefattibilità sarà fondamentale attribuire la medesima importanza alle prestazioni richieste a questo sistema di trasporto e all'impatto ambientale di tale opera, 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.

È per questo che la linea proposta è a singolo binario, così facendo la sovrastruttura ha una larghezza complessiva di circa 4 metri con un impatto spaziale simile più ad una pista ciclabile che ad una strada.

Il livello di rumore previsto sarà notevolmente inferiore a quello prodotto da una arteria stradale e concentrato unicamente nei momenti di transito del treno ovvero al massimo ogni 15 minuti.

Non è stata fatta una stima dell' investimento economico necessario per la realizzazione di quest' opera poiché tale stima deve essere successiva alla progettazione dettagliata delle numerose ed importanti opere d' arte previste (ponti, gallerie, stazioni); tuttavia appare chiaro che l' impegno economico sarà notevole.

Sembra quindi opportuno ricordare che la realizzazione di questa nuova arteria ferroviaria sarebbe ulteriormente incentivata se si pensasse di prolungare tale linea ferroviaria sino a Misurina.

Il valore del rapporto passeggeri/km potrebbe in tal caso aumentare notevolmente favorendo così lo sviluppo di nuovi impianti ricettivi e sportivi cui seguirebbe la creazione di nuovi posti di lavoro e di un ambiente più favorevole allo sviluppo demografico.

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 Sindaco 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.

Grazie a tutti.

Manfredini Federico

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.ferrovieabbondanote.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