

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e per il Territorio

TESI DI LAUREA MAGISTRALE



CARBON FOOTPRINT DELLE STAZIONI SCIISTICHE: METODI DI
QUANTIFICAZIONE E IPOTESI DI CONTENIMENTO

Relatore:
Prof. Alessandro Casasso

Studente:
Jacopo De Santis

Correlatore:
Ing. Costanza Gamberini

A.A 2019/2020

Indice

1	Premessa	1
2	Le componenti della carbon footprint in una stazione sciistica	3
2.1	Impianti di risalita	3
2.1.1	Principio di funzionamento e componentistica	3
2.1.2	Potenza assorbita	7
2.2	Innevamento programmato	13
2.2.1	Principio di funzionamento e componentistica	13
2.2.2	Variabili climatiche	18
2.2.3	Studi disponibili	20
2.3	Battitura delle piste	22
2.3.1	I mezzi battipista	22
2.3.2	La battitura della pista	23
3	Stima della carbon footprint in una stazione sciistica	26
3.1	Carbon Footprint e Global Warming Potential (GWP)	26
3.2	Fattori di emissione di gas serra	27
3.2.1	Fattore di emissione della rete elettrica	27
3.2.2	Fattore di emissione dei mezzi a gasolio	32
3.3	Stima della carbon footprint in 5 casi studio	32
3.3.1	Primo caso studio	32
3.3.2	Secondo caso studio	33
3.3.3	Terzo caso studio	34
3.3.4	Quarto caso studio	35
3.3.5	Quinto caso studio	36
3.4	Discussione sui casi studio	37
4	Misure di mitigazione della carbon footprint in una stazione sciistica	39
4.1	Produzione e autoconsumo di energia elettrica da fonti rinnovabili	39
4.1.1	Solare fotovoltaico	39
4.1.2	Esempio applicativo su un impianto di risalita	41
4.1.3	Impianti idroelettrici su condotta	46
4.2	Efficientamento energetico degli impianti di risalita	48
4.3	Efficientamento energetico degli impianti di pompaggio	48
4.3.1	Esempio applicativo su un impianto di innevamento programmato	49
4.4	Efficientamento della battitura delle piste	54
4.4.1	Sistemi geomatici	54
4.4.2	Mezzi battipista elettrici	56
5	Conclusioni	57
	Appendice A Intervista a Stefano Papi	59

Elenco delle figure

1	Evoluzione temporale delle anomalie della temperatura media globale (Fonte:Our World In Data).	1
2	Gruppo motore di un impianto di risalita.	3
3	Immagine riassuntiva della componentistica che costituisce un impianto di risalita.	5
4	Nella foto di sinistra si può vedere un sistema ad ammorsamento automatico in cui il disco rosso, una volta raggiunta la stazione, svincola il veicolo dalla fune principale e lo deposita attraverso le due ruote bianche su un apposita guida. Sulla destra invece si raffigura un sistema ad ammorsamento fisso in cui la seggiovia rimane sempre ancorata alla fune anche in prossimità della stazione di arrivo o partenza.	6
5	Tracciato dell'impianto di risalita con intermedio del Cantore sul Monte Amiata.	6
6	Stazione intermedia della seggiovia Cantore	7
7	Potenza assorbita dalle seggiovie 4 posti ad ammorsamento automatico in funzione del dislivello e della lunghezza.	8
8	Potenza assorbita dalle seggiovie 6 posti ad ammorsamento automatico in funzione del dislivello e della lunghezza.	8
9	Potenza assorbita dalle seggiovie 8 posti ad ammorsamento automatico in funzione del dislivello e della lunghezza.	9
10	Potenza assorbita dalle cabinovie 10 posti ad ammorsamento automatico in funzione del dislivello e della lunghezza.	9
11	Potenza assorbita dagli skilift ad ammorsamento fisso in funzione del dislivello e della lunghezza.	10
12	Potenza assorbita dalle seggiovie 4 posti ad ammorsamento automatico: scatterplot tra la potenza realmente assorbita (in ascissa) e quella stimata con l'equazione 1 (ordinata).	11
13	Potenza assorbita dalle seggiovie 6 posti ad ammorsamento automatico: scatterplot tra la potenza realmente assorbita (in ascissa) e quella stimata con l'equazione 1 (ordinata).	11
14	Potenza assorbita dalle seggiovie 8 posti ad ammorsamento automatico: scatterplot tra la potenza realmente assorbita (in ascissa) e quella stimata con l'equazione 1 (ordinata).	12
15	Potenza assorbita dalle cabinovie 10 posti ad ammorsamento automatico: scatterplot tra la potenza realmente assorbita (in ascissa) e quella stimata con l'equazione 1 (ordinata).	12
16	Potenza assorbita dagli skilift ad ammorsamento fisso: scatterplot tra la potenza realmente assorbita (in ascissa) e quella stimata con l'equazione 1 (ordinata).	13
17	Invaso presso Prato Nevoso da cui viene prelevata acqua per l'innevamento programmato.	14
18	In alto, sul tetto dell'edificio, è possibile osservare le torri di raffreddamento utilizzate per abbassare ulteriormente la temperatura dell'acqua.	14
19	Stazione di pompaggio Limonetto-Morel.	15
20	Schematizzazione delle diverse fasi utili per effettuare l'innevamento programmato.	16
21	Esempio di cannone a bassa pressione.	17
22	Esempio di cannone ad alta pressione	17
23	Esempio di cannone a lancia.	18
24	Tabella riassuntiva che mostra quale coppia di valori temperatura/umidità permette di confezionare neve di maggiore qualità (SNOWathome.com).	19

25	Risultato dello studio "Carbon e Water Footprint di impianti di innevamento programmato". Gli impianti A e B sono idroelettrici, l'impianto C invece è alimentato con energia fossile(Corrado Fontana, 2020).	21
26	Componenti che costituiscono un mezzo batti-pista	23
27	Prima fase della battitura delle piste in cui la lama distribuisce uniformemente la neve	23
28	Seconda fase in cui sono i cingoli a compattare la neve appena smossa dalla lama	24
29	Penultima fase in cui la fresa entra in funzione per frantumare ulteriormente la neve più compatta	24
30	Fase finale in cui con l'utilizzo del finisher si crea un perfetto manto nevoso . . .	25
31	Tipologie di GHG che influenzano il riscaldamento globale e rispettivi settori d'origine (Vladimir Budinsky ,2011).	26
32	Andamento giornaliero dei fattori di emissione della rete elettrica italiana nel periodo 1 novembre-13 aprile	31
33	Svizzera, primo impianto di risalita a funzionare a energia solare.	40
34	Funivia solare sul Monte Bianco.	40
35	Foto e planimetria della struttura alla partenza dell'impianto	42
36	Foto e planimetria della struttura all'arrivo dell'impianto	42
37	Foto e planimetria della struttura all'arrivo dell'impianto	43
38	Foto e planimetria della struttura all'arrivo dell'impianto	43
39	Andamento della produttività nel tempo dell'impianto fotovoltaico nei mesi invernali	44
40	Grafico dei flussi di cassa attualizzati che permettono l'individuazione del Payback period dell'investimento	46
41	Sistema di turbine all'interno della centrale di Santa Massenza.	46
42	Variazione della portata in un cannone da neve al variare della temperatura di bulbo umido.	50
43	Curva caratteristica del sistema ottenuta calcolando la prevalenza al variare della portata all'interno dei range stabiliti	51
44	Scheda tecnica dell'elettropompa PM(S) 65 (Caprari,2020)	52
45	Prevalenza, potenza e rendimento dell'intero sistema in funzione della portata. .	53
46	Prinoth Magazine IT, uno dei primi battipista dotati del sistema Leica Geosystems.	55
47	Pistenbully-600 E+, uno tra i primi e più efficienti battipista ibridi realizzati ad oggi	56
48	Lago artificiale con una capienza di 30-35mila m ³ , situato sul Monte Amiata in località Macinaie, utilizzato per l'innnevamento programmato	60

Elenco delle tabelle

1	Coefficienti di calibrazione dell'equazione 1.	10
2	Prospetto che mette in evidenza le Snowmaking hours per il comprensorio di Limone Piemonte dell'intera stagione 2018/2019 suddivisa in decenni	20
3	Esempio di andamento giornaliero della produzione elettrica da differenti fonti energetiche. Fonte: TERNA	28
4	Fattori di emissione relativi alle diverse fonti energetiche	29
5	Fattori di emissione che tengono conto dei diversi impatti ambientali generati dalle diverse fonti di produzione	30
6	Fattore di emissione medio stagionale e fattori di emissione medi di ogni decade	31
7	Estratto del bilancio di esercizio contenete le voci di consumo di energia elettrica e carburante	32
8	Estratto dal bilancio della società che gestisce i servizi della stazione sciistica del secondo caso studio	33
9	Estratto dal bilancio della società che gestisce il comprensorio del terzo caso studio	34
10	Estratto dal bilancio della società che gestisce i servizi della stazione del quarto caso studio	35
11	Estratto dal bilancio della società che gestisce il comprensorio del quinto caso studio	36
12	Tabella riassuntiva contenete i dati dei 5 comprensori in esame nella stagione 2018-2019.	37
13	Tabella riassuntiva contenete i dati dei 5 comprensori in esame per la stagione 2017-2018	38
14	Carratteristiche tecniche dei pannelli Dualsun Flash 300M	41

1 Premessa

Il riscaldamento globale (o global warming) è uno dei temi di maggior attualità nella discussione pubblica e politica.

Negli ultimi anni si è assistito ad un aumento delle iniziative volte a contrastare tale fenomeno, basate sulla riduzione delle emissioni di gas serra in atmosfera, ormai identificate come causa conclamata dei climate changes. Come riportato in Figura 11, il riscaldamento globale acquisito al 2018 è di circa 0.6-0.8°C superiore rispetto alla media del trentennio 1961-1990.

Per evitare che la situazione peggiori drasticamente e che gli effetti di ciò siano ancora più deleteri, è fondamentale limitare il global warming a 2°C (AR5 IPCC, 2014) per farlo è indispensabile azzerare la produzione di questi gas nocivi prima del 2050.

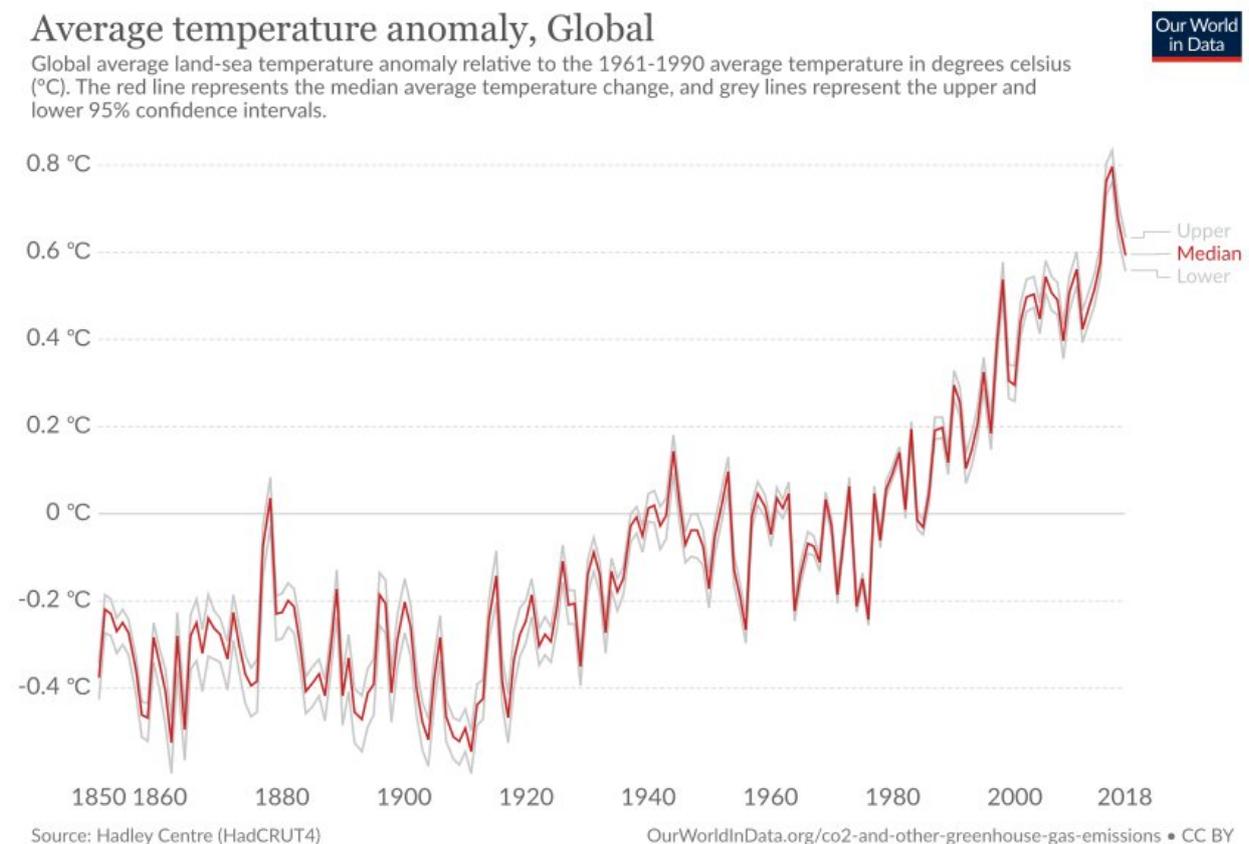


Figura 1: Evoluzione temporale delle anomalie della temperatura media globale (Fonte: Our World In Data).

La riduzione delle emissioni di gas serra richiede di ripensare ogni servizio, rendendolo più efficiente, riducendo la quantità di risorse consumate per ottenere un certo bene .

Tra le attività umane, una delle più impattanti è rappresentata dal turismo, sia per quanto riguarda la mobilità dei turisti, sia in merito alle attività da essi svolte e le strutture ricettive. Lo sci, nel settore turistico, è una componente estremamente importante , in particolare per i Paesi europei dell'arco alpino (Italia, Francia, Svizzera, Austria, Germania, Slovenia), per alcuni Stati degli USA, per il Giappone e, negli ultimi anni, la Cina (Laurent Vanat, 2019).

Per questo sport è fondamentale la presenza di precipitazioni nevose, di conseguenza, l'esistenza di questa attività è strettamente collegata ai cambiamenti climatici. L'aumento delle temperatura del globo terrestre ha comportato, inevitabilmente, una presenza sempre più scarsa di neve naturale nelle piste.

L'importanza di far perdurare nel tempo questo servizio sta nel fatto che il settore sciistico

coinvolge circa 4 milioni di appassionati degli sport invernali e complessivamente nel 2017-2018, prima del segno negativo nel fatturato (-4,7%) e nelle presenze (-3,6%), avvenuto con la stagione invernale successiva, valeva circa l'11% del turismo nazionale italiano, con un fatturato che superava gli undici miliardi di euro. (Federturismo Confindustria, 2019-2020).

Proprio per questo motivo che, tramite gli sviluppi nel campo della tecnologia, si è cercato di mantenere vivo questo settore.

Si utilizzano macchine spara-neve che riescono a lavorare a temperature sempre più alte con efficienze maggiori, impianti di risalita più grandi e potenti per ridurre le attese degli sciatori ed infine anche il numero di mezzi battipista per stazione sciistica è aumentato, per cercare di assicurare neve perfetta per lo sciatore ogni giorno e con ogni condizione climatica.

Tutto ciò ha comportato inevitabilmente un aumento dei consumi e di conseguenza delle emissioni di gas serra. Pertanto, ciò che questa tesi si propone di fare è calcolare l'impronta di carbonio (carbon footprint) del settore dello sci, cioè quanta anidride carbonica equivalente viene prodotta per sciatore, considerando i tre servizi che risultano essere i più impattanti: innevamento programmato, battitura delle piste e utilizzo degli impianti di risalita.

Questo indicatore ha tra i suoi vantaggi quello di permettere di rendere confrontabili attività molto diverse tra loro e, al loro interno, i differenti settori. Questo permetterà di comprendere quali siano i margini di miglioramento e la priorità di diverse azioni di mitigazione, anche in ragione del loro costo.

Il fine ultimo è quello di dimostrare che le varie componenti che permettono la gestione del resort sciistico, hanno un peso veramente irrisorio nella produzione di anidride carbonica, rispetto, per esempio, a quella prodotta dagli sportivi nello spostamento volto a raggiungere le località montane.

Ciò vuole incoraggiare il cliente ad organizzare, o comunque a ridurre, gli spostamenti a favore di stazioni, magari più piccole, ma che si trovano in posizioni più favorevoli rispetto allo sciatore stesso.

La trattazione in questione verrà sviluppata in 4 capitoli: nel primo capitolo si analizzano i servizi che incidono sulla carbon footprint per una stazione sciistica, nel secondo, invece, si fornisce un metodo per la stima di tale parametro, nonché un criterio di calcolo speditivo su 5 casi specifici così da fornire valori di emissioni di gas serra per stazioni sciistiche di diverse capacità. Nel terzo capitolo si propongono metodi per la mitigazione dell'impatto ambientale dovuto alle attività sciistiche, esponendo anche qui due casi studio in cui, attraverso l'efficientamento dell'impianto di pompaggio dell'acqua utilizzata per l'innnevamento e l'utilizzo di un impianto di risalita alimentato a energia solare, si mostra come ridurre la carbon footprint di una stazione sciistica. Il quarto capitolo, infine, riporta le conclusioni del lavoro svolto. .

2 Le componenti della carbon footprint in una stazione sciistica

Le attività svolte nelle stazioni sciistiche sono molteplici e tutte concorrono alla formazione della loro carbon footprint, tuttavia i tre macro-servizi che più influiscono su questo parametro sono gli impianti di risalita, l'innevamento programmato e la battitura delle piste. Queste attività vengono analizzate nel capitolo che segue, tralasciando attività meno impattanti come: l'energia consumata dalle baite poste lungo le piste, il funzionamento dei mezzi per il soccorso alpino, ecc..

2.1 Impianti di risalita

Gli impianti di risalita, che provvedono al trasporto degli sciatori sulle piste, sono il "cuore" di una stazione sciistica. Essi rappresentano inoltre la principale voce di consumo energetico nel settore dello sci, poichè si tratta di impianti di grande potenza elettrica che operano per diverse centinaia di ore all'anno. In questo paragrafo si analizza dapprima il principio di funzionamento degli impianti a fune (Cap. 2.1.1). Nel successivo Cap. 2.1.2 vengono invece analizzati i fattori che influenzano la potenza elettrica impegnata da questi impianti.

2.1.1 Principio di funzionamento e componentistica

Per costruire un impianto di risalita sono essenziali almeno due stazioni, una situata al punto di partenza e l'altra al punto di arrivo. Generalmente il motore, i freni di servizio e il pulpito di manovra non si trovano all'interno dei veicoli, ma vengono montati direttamente nell'edificio di stazione.

Il funzionamento degli impianti di risalita è semplice e può essere brevemente schematizzato così: i veicoli si muovono su 1 o 2 funi portanti che a sua volta sono connesse ad un'altra fune ad anello che è azionata da uno o più motori solitamente posti a monte. Grazie al collegamento su una fune unica le due cabine si muovono in modalità va e vieni, recuperando dunque una parte dell'energia grazie alla cabina che scende.

Se da una parte la progettazione degli impianti a fune offre una certa libertà per quanto riguarda alcune scelte tecniche da adottare (posizione del motore, numero sostegni, ecc..), dall'altra la componentistica che costituisce le diverse tipologie di installazioni è pressoché identica e consiste in:

- **Gruppo motore:** in relazione alle esigenze specifiche di progetto, il motore può essere montato sia a monte che a valle, in configurazione sospesa o interrata, nelle varianti con motrice fissa o tenditrice. È composto dal motore, dai freni di emergenza e di servizio e dal riduttore (figura 2).

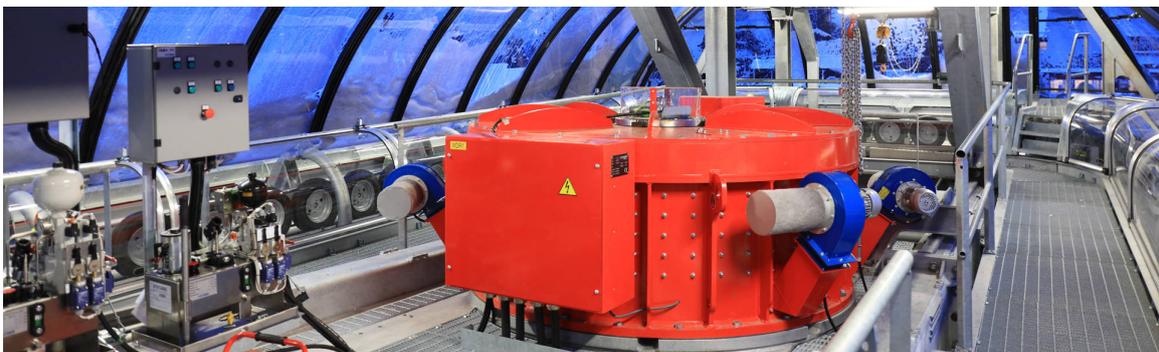


Figura 2: Gruppo motore di un impianto di risalita.

- **Sostegni:** i sostegni permettono alle cabine di poter viaggiare su ambedue i lati del fusto, ogni sostegno è composto da tubi in acciaio di diverso diametro, lunghezza e spessore. I sostegni necessariamente sono estremamente robusti dal momento che devono sorreggere il peso dei passeggeri e dei veicoli. A seconda della morfologia del terreno, nella fase di montaggio, i singoli componenti vengono trasportati tramite elicottero e assemblati in loco (figura 3).
Esistono inoltre sostegni speciali che possono raggiungere anche un' altezza superiore ai 30 m e solitamente sono formati da due o più elementi.
- **Rulliere:** le rulliere hanno il compito di guidare la fune traente lungo la linea. Sono composte da una serie di rulli, la cui quantità dipende dal carico che la fune deve sopportare. Ogni rullo è composto dall'anello di gomma, dal bordo esterno e da un corpo principale (figura 3).
- **Fune:** le funi sono composte da trefoli intrecciati intorno all'anima. Vengono costruite da aziende specializzate, che provvedono anche al loro montaggio direttamente in loco (figura 3).
- **Elettronica di potenza:** l'elettronica di potenza assicura un moto affidabile e preciso della fune, in qualsiasi condizione di carico e di funzionamento. Per mezzo dell'elettronica di potenza è possibile regolare il comportamento dell'impianto alla partenza, allo spegnimento e durante la marcia.
- **Veicoli:** i veicoli (figura 3) costituiscono quella parte di un impianto di risalita con la quale gli sciatori sono a più diretto contatto e si dividono in:
 - *Seggiole:* Tutte le seggiole, non importa se a morsa fissa o ad ammorsamento automatico, sono composte da: sedili, schienali alti, poggiatesta e barre di sicurezza bloccabili.
 - *Cabine:* Le cabine vengono utilizzate essenzialmente per impianti ad ammorsamento automatico e possono trasportare dalle 4 alle 35 persone. Esistono diverse versioni e tutte le cabine hanno una struttura portante in alluminio in maniera tale che oppongano la minima resistenza aerodinamica.
 - *Skilift:* Costituito da un traino in acciaio a cui lo sciatore si attacca per poter risalire il pendio. Solitamente vengono usati per brevi distanze e bassi dislivelli.



Figura 3: Immagine riassuntiva della componentistica che costituisce un impianto di risalita.

- **Morsa:** La morsa connette il veicolo direttamente alla fune permettendone il movimento, ne esistono due differenti tipologie che possono essere perfettamente adattate ai bisogni specifici dei vari impianti: la morsa automatica (figura 4A) e quella fissa (figura 4B). Gli impianti ad ammortamento automatico sono caratterizzati dalla possibilità di ammortare i veicoli dalla fune nelle stazioni. Ciò consente una velocità di linea maggiore durante il viaggio e una minore nelle stazioni, a tutto vantaggio dei passeggeri, che possono viaggiare più velocemente, ma anche approfittare di un maggior comfort di imbarco e di sbarco. Oltre all'aumento del comfort, questi impianti, vantano una maggiore portata. Come riportato nel Decreto Dirigenziale del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti nr. 337 del 16/11/2012, il numero massimo di passeggeri in linea è di 200, in quanto si deve garantire un tempo limite di evacuazione dell'impianto in caso di guasto. Con il tipo di sistema appena citato, avendo una portata oraria maggiore, si è in grado quindi di costruire un impianto più lungo rispetto a una configurazione con morsa fissa. Dal canto suo però l'ammortamento fisso, sebbene abbia una velocità di crociera minore (secondo quanto previsto dal sopracitato Decreto, non superiore ai 2.5 m/s), assicura una maggiore affidabilità e un ottimo rapporto tra la vita tecnica e costi di investimento.



Figura 4: Nella foto di sinistra si può vedere un sistema ad ammorsamento automatico in cui il disco rosso, una volta raggiunta la stazione, svincola il veicolo dalla fune principale e lo deposita attraverso le due ruote bianche su un'apposita guida. Sulla destra invece si raffigura un sistema ad ammorsamento fisso in cui la seggiovia rimane sempre ancorata alla fune anche in prossimità della stazione di arrivo o partenza.

Ogni stazione si può dire un prodotto unico, che viene adeguato alle peculiari condizioni dell'impianto e alle caratteristiche dell'area in cui è inserita. Ne conseguono diversi tipi di stazione, come ad esempio la stazione lunga, quella corta, quella intermedia e la stazione HCL, in cui il giro stazione è realizzato attraverso due curve di diverso raggio (figura 5 e figura 6).



Figura 5: Tracciato dell'impianto di risalita con intermedio del Cantore sul Monte Amiata.



Figura 6: Stazione intermedia della seggiovia Cantore .

2.1.2 Potenza assorbita

E' evidente che se si vuole calcolare le emissioni in termini di anidride carbonica di un impianto di risalita, l'aspetto più importante da considerare è la potenza del motore. Questo fattore è strettamente collegato all'energia assorbita dal sistema e quindi alle emissioni di gas serra.

Il dimensionamento del motore viene effettuato sulla base del calcolo delle forze che esso deve vincere e che dipendono dal peso dei veicoli, dal dislivello da superare, dall'attrito dei componenti (funi, rulliere ecc.). Si determina in questo modo la potenza del motore che quindi dipende dai parametri sopra citati, ma che è il frutto di un complesso procedimento. Per questo motivo, in questa tesi sono stati elaborati dati di potenze note di impianti di risalita (in particolare, gli impianti della ditta Leitner presenti sul sito ufficiale, <https://www.leitner-ropeways.com/it/>), ricavando correlazioni della potenza con dislivello e lunghezza della linea, per diverse tipologie (ciascuna delle quali con un differente peso dei veicoli). Nelle figure 7, 8, 9, 10 e 11 si riporta l'andamento della potenza in funzione delle due variabili.

SEGGIOVIA 4 POSTI AD AMMORSAMENTO AUTOMATICO (CD4C)

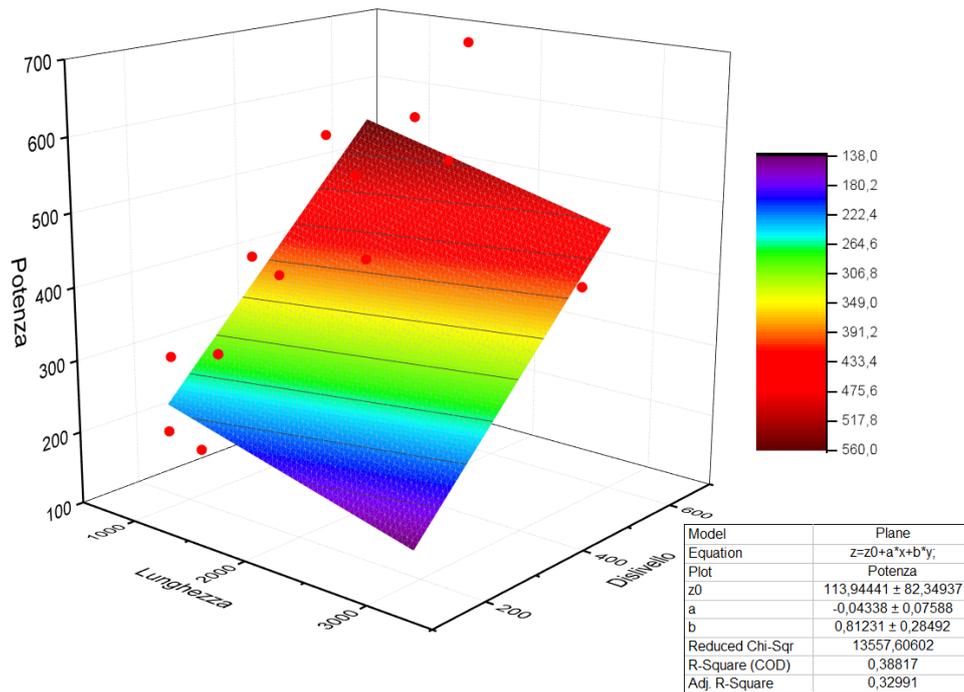


Figura 7: Potenza assorbita dalle seggiovie 4 posti ad ammortamento automatico in funzione del dislivello e della lunghezza.

SEGGIOVIA 6 POSTI AD AMMORSAMENTO AUTOMATICO (CD6C)

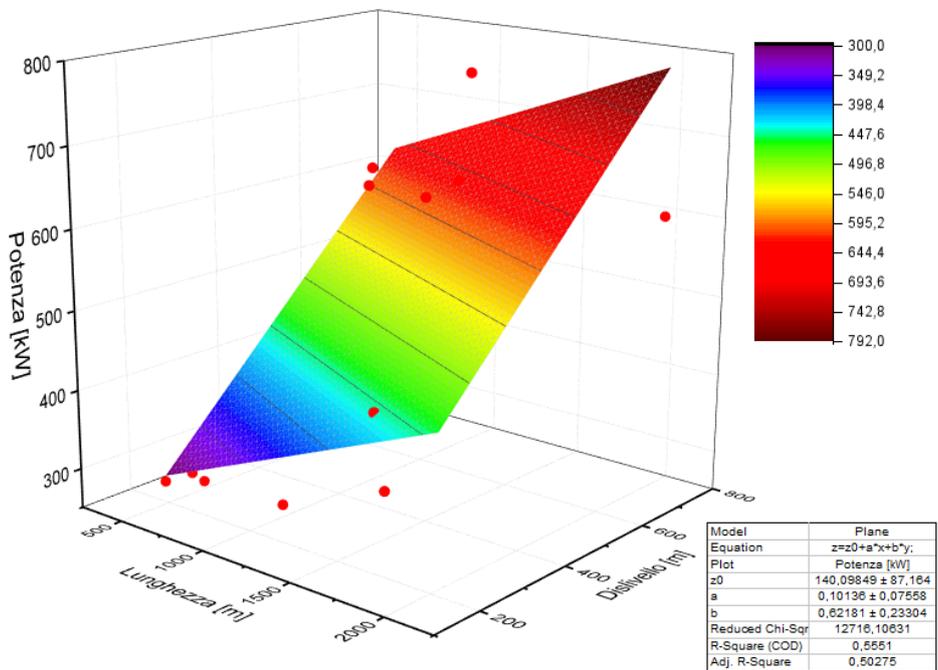


Figura 8: Potenza assorbita dalle seggiovie 6 posti ad ammortamento automatico in funzione del dislivello e della lunghezza.

SEGGIOVIA 8 POSTI AD AMMORSAMENTO AUTOMATICO (CD8C)

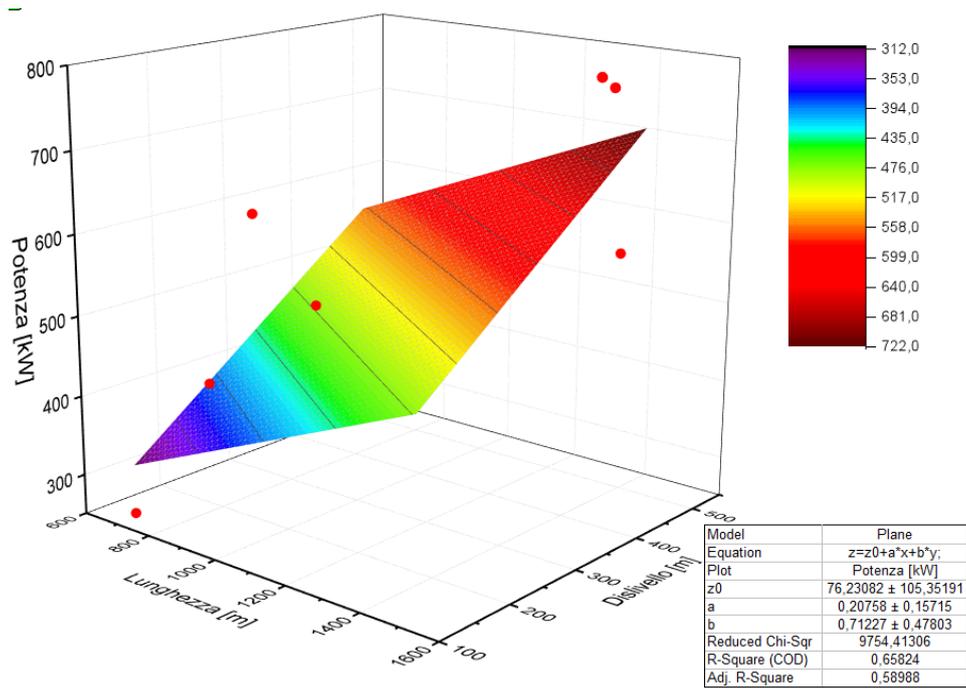


Figura 9: Potenza assorbita dalle seggiovie 8 posti ad ammortamento automatico in funzione del dislivello e della lunghezza.

CABINOVIA 10 POSTI AD AMMORSAMENTO AUTOMATICO (GD10)

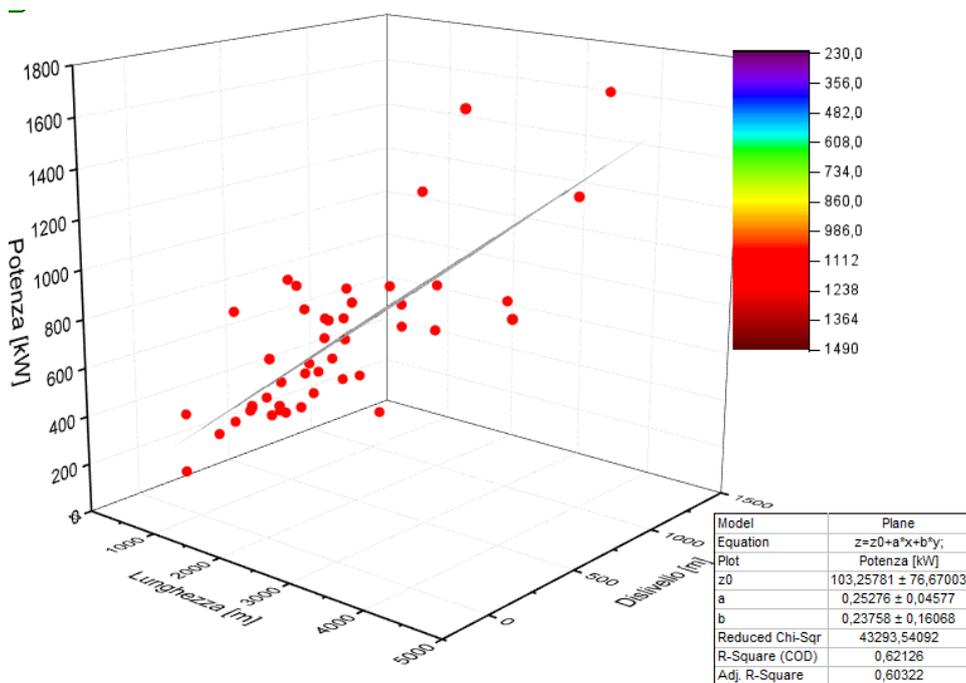


Figura 10: Potenza assorbita dalle cabinovie 10 posti ad ammortamento automatico in funzione del dislivello e della lunghezza.

SKILIFT AD AMMORSAMENTO FISSO

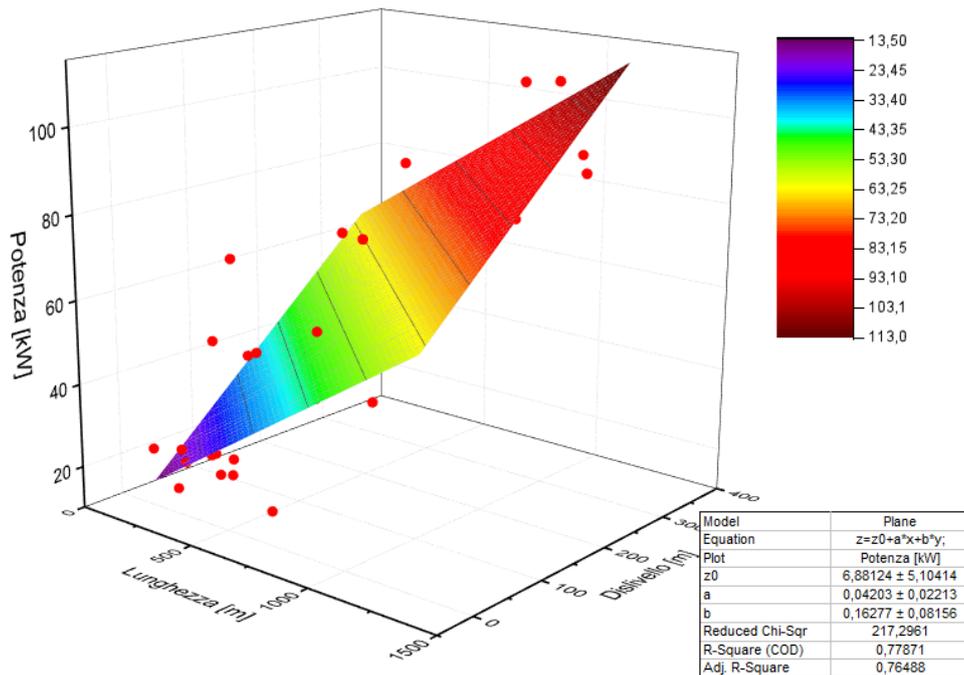


Figura 11: Potenza assorbita dagli skilift ad ammorsamento fisso in funzione del dislivello e della lunghezza.

Da questi grafici sono stati ricavate, tramite procedura di fitting con il software Origin, le seguenti correlazioni:

I valori di potenza assorbita dalle diverse tipologie di impianti di risalita sono stati utilizzati per calibrare una relazione del tipo:

$$z = z_0 + ax + by \quad (1)$$

dove z è la potenza (kW), x è la lunghezza (m) e y è il dislivello (m). In Tabella 1 sono riportati i valori dei coefficienti z_0 , a e b così calibrati, riportando anche l'intervallo di confidenza del 95%

Tabella 1: Coefficienti di calibrazione dell'equazione 1.

Tipologia di impianto	Numero di impianti analizzati	R ²	z_0	a (m)	b (m)
CD4C	23	0,388	$113,944 \pm 82,349$	$-0,043 \pm 0,076$	$0,812 \pm 02,85$
CD6C	20	0,555	$140,098 \pm 87,164$	$0,101 \pm 0,075$	$0,621 \pm 0,233$
CD8C	13	0,658	$76,230 \pm 105,351$	$0,207 \pm 0,157$	$0,712 \pm 0,478$
GD10	45	0,621	$103,258 \pm 76,670$	$0,253 \pm 0,045$	$0,238 \pm 0,161$
SL1	32	0,779	$6,881 \pm 5,104$	$0,042 \pm 0,022$	$0,163 \pm 0,082$

Pur con una certa dispersione (e quindi un certo margine d'errore), le relazioni sopra riportate permettono di comprendere con un'approssimazione accettabile l'ordine di grandezza della potenza necessaria per un impianto di risalita di cui siano noti solamente il dislivello e la lunghezza (dati generalmente di dominio pubblico). E' evidente di come vi sia una relazione di diretta proporzionalità tra le tre variabili, all'aumentare della variazione di quota o della distanza tra partenza e arrivo dell'impianto, aumentano anche le dimensioni del motore necessarie al funzionamento dell'impianto stesso.

Il confronto fra le potenze reali e quelle ricavate con le correlazioni appena mostrate è riportato

negli scatterplot in figura 12, 13, 14, 15 e 16.

SEGGIOVIA 4 POSTI AD AMMORSAMENTO AUTOMATICO (CD4C)

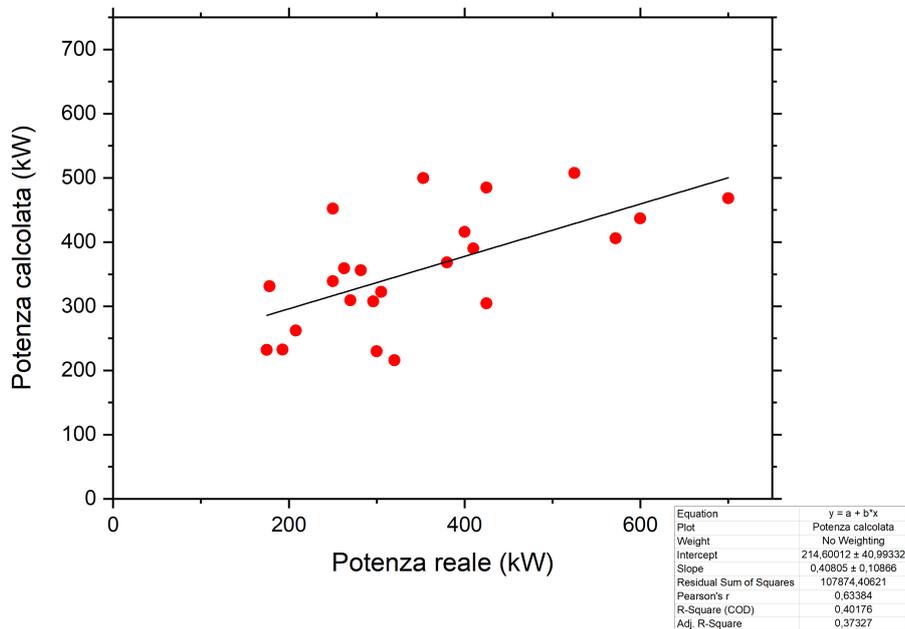


Figura 12: Potenza assorbita dalle seggiovie 4 posti ad ammorsamento automatico: scatterplot tra la potenza realmente assorbita (in ascissa) e quella stimata con l'equazione 1 (ordinata).

SEGGIOVIA 6 POSTI AD AMMORSAMENTO AUTOMATICO (CD6C)

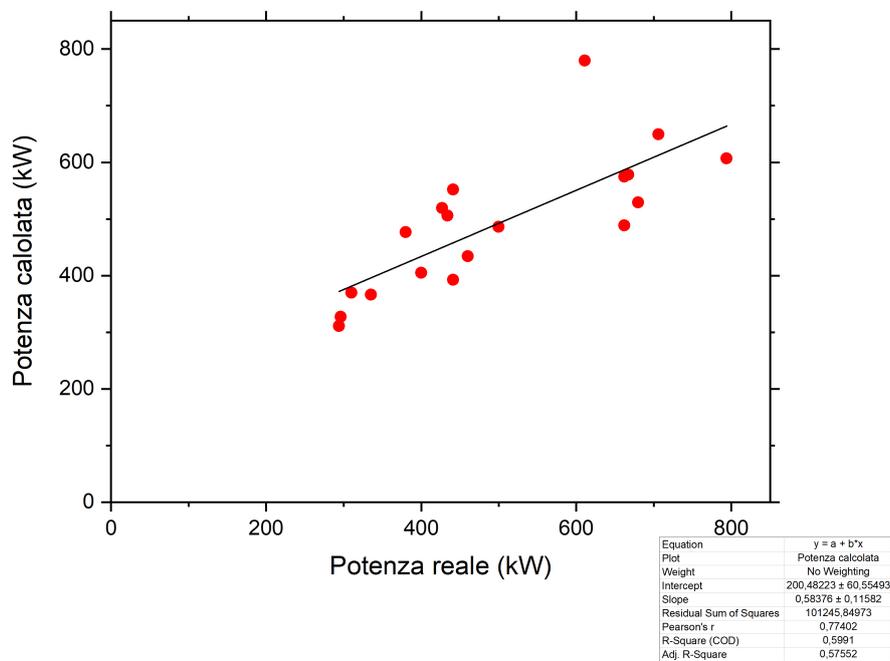


Figura 13: Potenza assorbita dalle seggiovie 6 posti ad ammorsamento automatico: scatterplot tra la potenza realmente assorbita (in ascissa) e quella stimata con l'equazione 1 (ordinata).

SEGGIOVIA 8 POSTI AD AMMORSAMENTO AUTOMATICO (CD8C)

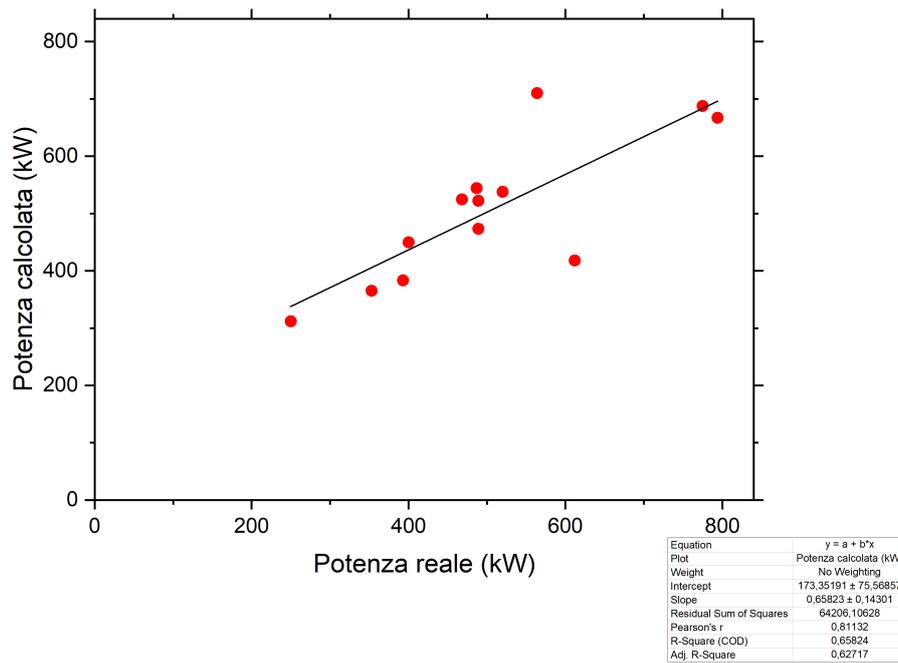


Figura 14: Potenza assorbita dalle seggiovie 8 posti ad ammorsamento automatico: scatterplot tra la potenza realmente assorbita (in ascissa) e quella stimata con l'equazione 1 (ordinata).

CABINOVIA 10 POSTI AD AMMORSAMENTO AUTOMATICO (GD10)

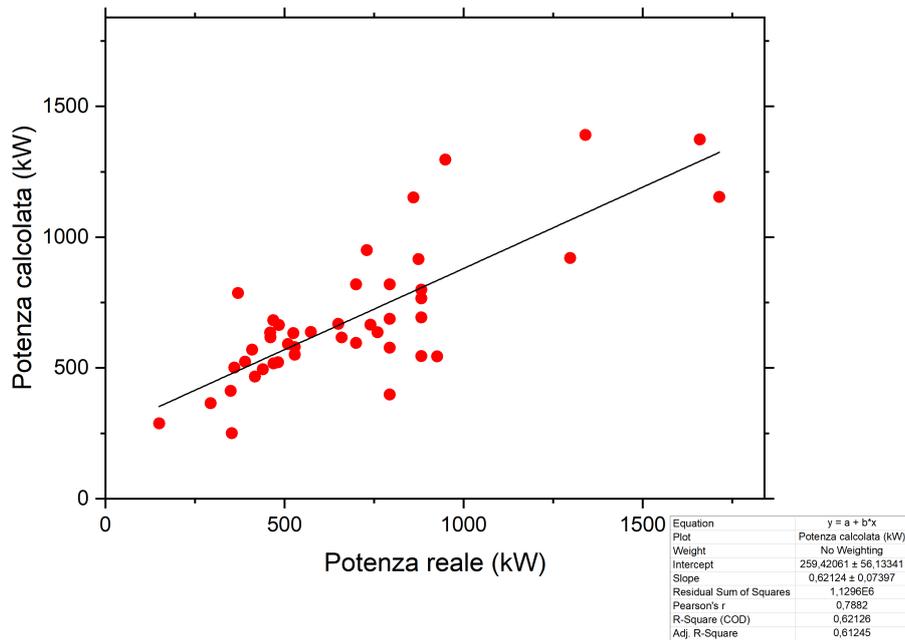


Figura 15: Potenza assorbita dalle cabinovie 10 posti ad ammorsamento automatico: scatterplot tra la potenza realmente assorbita (in ascissa) e quella stimata con l'equazione 1 (ordinata).

SKILIFT AD AMMORSAMENTO FISSO

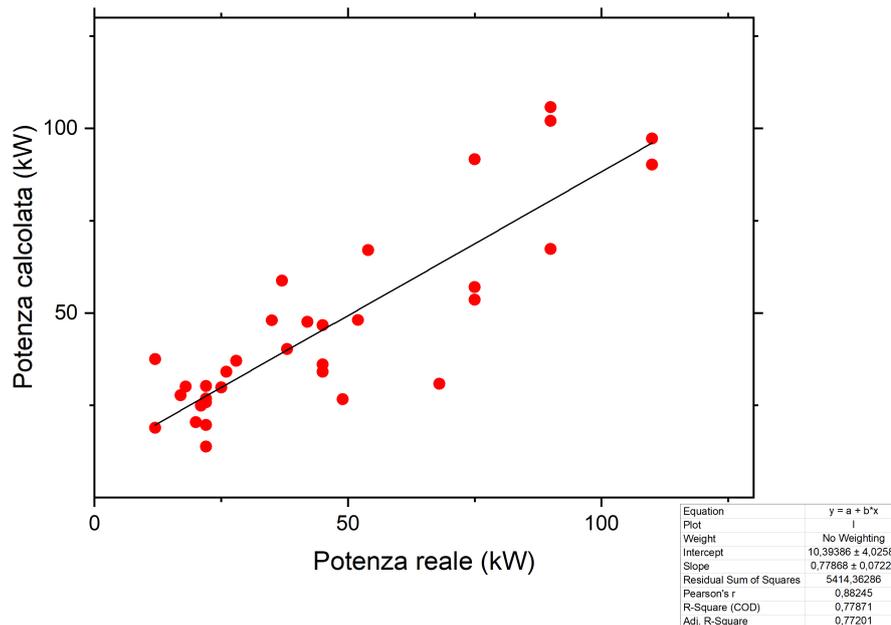


Figura 16: Potenza assorbita dagli skilift ad ammorsamento fisso: scatterplot tra la potenza realmente assorbita (in ascissa) e quella stimata con l'equazione 1 (ordinata).

Anche in questo caso la relazione tra le due variabili è evidente, tuttavia, all'interno dei grafici sovrastanti, alcuni punti sono più dispersi di altri, ciò è dovuto al fatto che, sebbene siano il dislivello e la lunghezza dell'impianto a giocare un ruolo fondamentale nella progettazione di questi sistemi, ci sono anche altri fattori come, la posizione del motore o la tipologia di veicolo utilizzato, che possono portare a delle variazioni di potenza del motore dimensionato.

2.2 Innevamento programmato

2.2.1 Principio di funzionamento e componentistica

La neve naturale nasce in atmosfera da gocce d'acqua che vengono a contatto con nuclei di congelamento, costituiti prevalentemente da particelle di pulviscolo atmosferico e argilla, per dare vita a granuli di ghiaccio. La sublimazione del vapore acqueo all'interno delle nubi sui granuli di ghiaccio, origina i cristalli di neve.

La produzione di neve artificiale invece è il risultato di processi che coinvolgono due "ingredienti" principali, l'aria compressa e l'acqua. Le fasi che costituiscono una campagna di innevamento sono 5, essendoci due linee: acqua e aria compressa, alcune di queste non sono consecutive ma concomitanti :

- *Adduzione*: L'acqua viene prelevata da invasi o corsi d'acqua che possono essere in quota o a valle. Il corpo idrico a cui viene sottratta l'acqua deve garantire non solo requisiti quantitativi, ma anche qualitativi, ossia un discreto livello di purezza della materia prima (figura 17).



Figura 17: Invaso presso Prato Nevoso da cui viene prelevata acqua per l'innevamento programmato.

- *Raffreddamento dell'acqua:* Nella sala pompe l'acqua viene convogliata nelle torri di raffreddamento che la portano ad una temperatura di circa 2°C (figura 18);



Figura 18: In alto, sul tetto dell'edificio, è possibile osservare le torri di raffreddamento utilizzate per abbassare ulteriormente la temperatura dell'acqua.

- *Pompaggio dell'acqua in linea*: I sistemi di pompaggio (figura 19) hanno essenzialmente due funzioni: superare una certa prevalenza geodetica così che l'acqua ormai fredda possa raggiungere i cannoni e, in più, assicurare che nel punto più alto raggiunto dall'impianto vi sia una pressione adatta alla tipologia di macchina che si sta utilizzando (ad alta o bassa pressione).

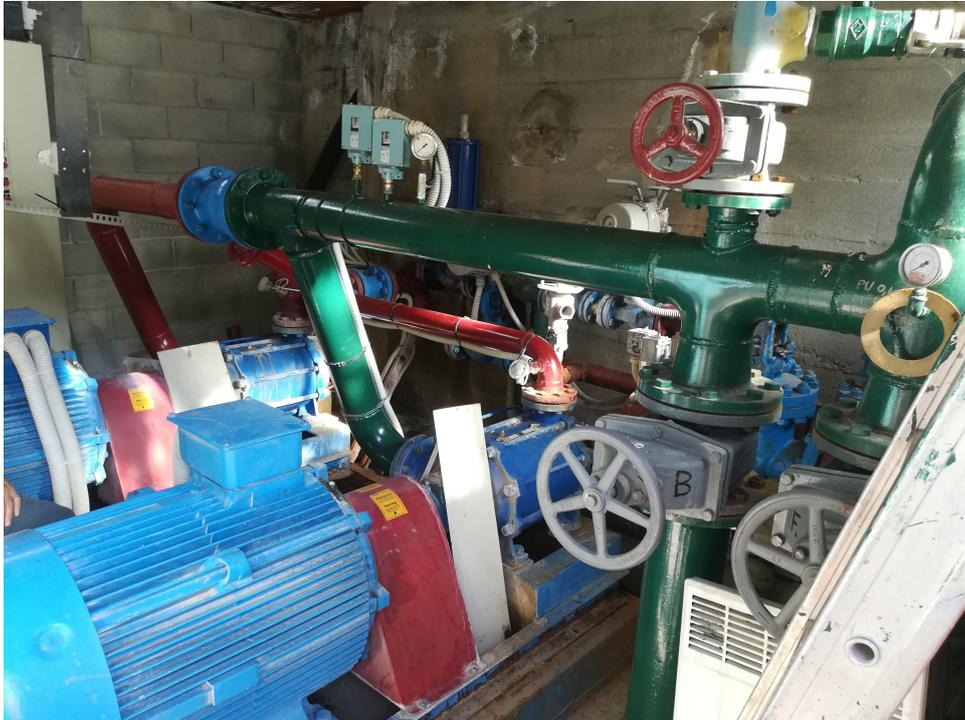


Figura 19: Stazione di pompaggio Limonetto-Morel.

- *Compressione dell'aria*: l'aria viene prelevata dall'esterno e compressa tramite grandi compressori disposti in una sala macchine, generalmente adiacente alla sala pompe, oppure mediante compressori situati direttamente sulle macchine spara-neve (6-10 bar);
- *Immissione in linea*: l'aria viene fornita con tubazioni apposite ai pozzetti che ospitano i cannoni.

Nella figura 20 si riporta la schematizzazione del processo appena descritto.

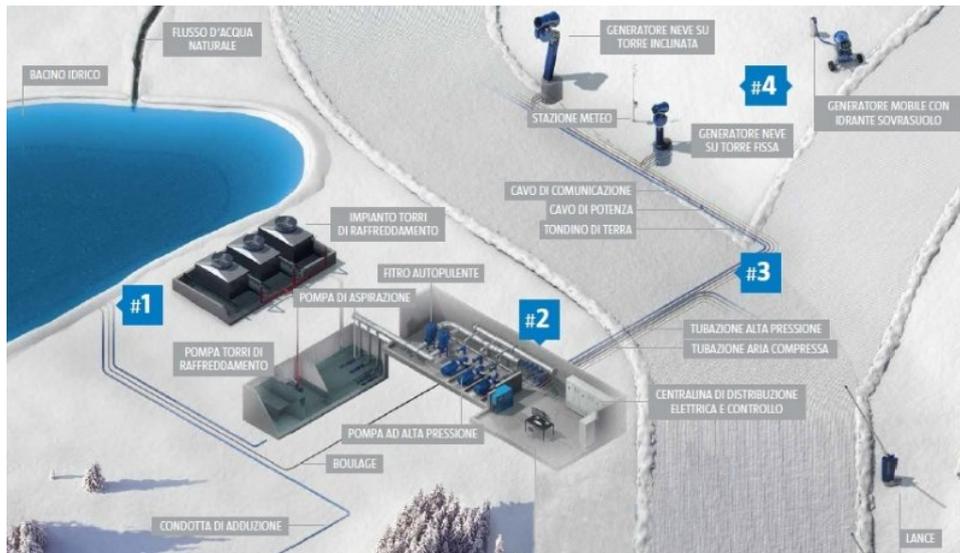


Figura 20: Schematizzazione delle diverse fasi utili per effettuare l'innevamento programmato.

Salvo rare eccezioni, l'adduzione è la componente nettamente preponderante dei consumi energetici, tuttavia a fare la differenza in termini di energia consumata è anche la tipologia di macchina spara-neve utilizzata. Attualmente esistono tre tipi principali di sistemi per l'innevamento programmato:

- **Bassa pressione:** Sono costituiti da un corpo di forma cilindrica, lungo 1 metro, provvisto di una ventola ad un'estremità e di ugelli e nucleatori in una o più corone concentriche disposti all'estremità opposta.

Mentre la principale caratteristica degli ugelli è garantire una goccia medio/fine per migliorare la cristallizzazione (trasformazione acqua/ghiaccio), i nucleatori sono degli atomizzatori bi-fasico, ovvero dispositivi che, a bassa temperatura, sminuzzano contemporaneamente acqua e aria, dando vita alla prima minuscola particella di ghiaccio, chiamata germe di nucleazione. Essi in generale si formano sulla corona più esterna dell'innevatore e sono, di solito, in quantità molto inferiore rispetto agli ugelli. La varietà dei fori di uscita che spesso sono regolabili e, appunto, il grande numero di ugelli, rendono il dispositivo estremamente adattabile e versatile alle varie condizioni climatiche.

Il compressore per l'aria compressa è, insieme alla turbina, posizionato alla base del cannone, entrambi, se non correttamente isolati, costituiscono una fonte di calore che potrebbe influire negativamente sulla qualità della neve (figura 21).



Figura 21: Esempio di cannone a bassa pressione.

- **Alta pressione:** Questi innevatori sono formati da un'asta, di lunghezza variabile, sulla quale viene montata una testa cilindrica, in cui si ha la miscelazione tra acqua e aria. La nebulizzazione dell'acqua viene raggiunta tramite il passaggio, attraverso un ugello di emissione, di una miscela di aria e acqua estremamente compressa. L'espansione dell'aria compressa alla pressione atmosferica determina un sensibile raffreddamento dell'acqua che permette di produrre neve artificiale a temperature superiori rispetto al sistema precedente. I vantaggi per questa tipologia di innevatori sono la facilità d'uso e l'affidabilità, dovuta soprattutto all'assenza di componenti esterni all'asta (compressori, ventole). Il principale svantaggio invece è associato al grande consumo elettrico per la produzione di aria compressa (figura 22).



Figura 22: Esempio di cannone ad alta pressione

- **Cannoni a lancia:** Si tratta della generazione di innevatori tecnologicamente più avanzati che stanno trovando molti consensi tra i gestori dei comprensori.

E' costituito da un'asta con un'altezza che può variare tra i 6 e i 10 metri, sulla cui cima è posta una testa che ospita nucleatori ed ugelli. Il metodo di generazione di neve è molto simile a quello dei cannoni a bassa pressione. Il tempo di volo non è però determinato tramite la ventola, bensì attraverso l'altezza di nebulizzazione. Di solito le temperature di esercizio di questi dispositivi sono inferiori rispetto a quelle degli altri cannoni (figura 23).



Figura 23: Esempio di cannone a lancia.

La neve artificiale è generalmente caratterizzata da cristalli dalla forma arrotondata. Di norma la sua densità è elevata, circa 350-400 kg per metro cubo, rispetto ai 70-100 kg, della neve naturale. (Andrea Paganin, 2017)

Quando la neve naturale raggiunge il suolo si trasforma, in rapporto alle condizioni ambientali, secondo processi soprannominati di metamorfismo. La neve artificiale, invece, si evolve molto poco, se non per la creazione di legami tra i cristalli, dovuti al congelamento dell'acqua interstiziale. Questo la rende più permeabile all'aria, più compatta e quindi più termicamente conduttiva della neve naturale. Poiché la neve artificiale è più ricca d'acqua, ha anche una capacità termica molto maggiore rispetto a quella della neve naturale. Per questo motivo, a parità di radiazione solare ricevuta la sua temperatura cresce di meno e ciò la rende più resistente allo scioglimento.

2.2.2 Variabili climatiche

La produzione di neve artificiale è soggetta a dei requisiti di condizioni climatiche, in parte differenti rispetto a quelle necessarie perché si verifichino precipitazioni nevose. In natura, infatti, i cristalli di neve si generano solo quando si verificano contemporaneamente la presenza di basse temperature, nuclei di congelamento e umidità dispersa nell'atmosfera.

In ambiente naturale le condizioni di temperatura non sono facilmente modificabili, perciò le uniche variabili su cui si può agire per generare neve artificiale sono l'umidità dell'aria e la presenza di nuclei di congelamento.

Il parametro quindi che gioca un ruolo fondamentale nelle campagne di innevamento è la temperatura di bulbo umido, ovvero la più bassa temperatura che si può ottenere per evaporazione dell'acqua nell'aria a pressione costante.

I macchinari per la produzione di neve descritti poc'anzi funzionano con una temperatura di bulbo umido non superiore ai -2°C , più è bassa la temperatura, maggiore sarà, in proporzione all'aria compressa sparata, la quantità d'acqua nella miscela acqua/aria. In questo modo si può generare neve di maggiore qualità e con un consumo energetico minore, infatti, avere temperature più calde e quindi dover sparare più aria compressa e meno acqua fa sì che, a parità

di consumi, il quantitativo di neve tecnica generata sia inferiore. A tal proposito, in figura 24 si riporta le coppie di valori temperatura/umidità che permettono di avere qualità di neve che vanno da quella ottimale a quella più scarsa.

Temp C	Good Snow Quality					Poor Snow Quality										No Snowmaking				
	Humidity	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
-9		-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-10	-10	-10	-10	-9	-9
-8		-12	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-10	-10	-10	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8
-7		-10	-10	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7	-7
-6		-10	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7	-6	-6
-5		-9	-9	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-5
-4		-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-4	-4
-3		-7	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-3
-2		-7	-7	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-3	-2	-2
-1		-6	-6	-5	-5	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1
0		-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	0
1		-5	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	0	0	0	1
2		-4	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	2	2	2
3		-3	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3
4		-2	-2	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4

Figura 24: Tabella riassuntiva che mostra quale coppia di valori temperatura/umidità permette di confezionare neve di maggiore qualità (SNOWathome.com).

Per avere un ordine di grandezza di quante ore di innevamento potenziali dispone un comprensorio in una stagione per creare neve di buona qualità, è stato necessario analizzare i dati meteo forniti dall'ARPA nell'anno 2018/2019 prendendo come test una stazione della provincia di Cuneo, in Piemonte.

La temperatura di bulbo umido è stata calcolata in funzione della temperatura dell'aria e dell'umidità con la seguente formula (Roland Stull, 2011):

$$T_{wb} = T \operatorname{atan}[0.151977(RH\% + 8.313659)^{1/2}] + \operatorname{atan}(T + RH\%) - \operatorname{atan}(RH\% - 1.676331) + 0.003918(RH\%)^{3/2} \operatorname{atan}(0.023101RH\%) - 4.686035 \quad (2)$$

L'intera stagione sciistica (dal 1/11/2018 al 13/04/2019) è stata divisa in 17 periodi da 10 giorni (decadi) con la creazione di una matrice che esprimesse quante volte, a una determinata ora del giorno, si presenta una T_{wb} inferiore ai -2°C all'interno di una stessa decade. In questo modo si riesce a evidenziare quelle che vengono chiamate potential snowmaking hours (Tabella 2).

Tabella 2: Prospetto che mette in evidenza le Snowmaking hours per il comprensorio di Limone Piemonte dell'intera stagione 2018/2019 suddivisa in decadi

Mese																	
	Novembre			Dicembre			Gennaio			Febbraio			Marzo			Aprile	
Decade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
00:00	4	6	5	10	6	5	3	8	3	10	5	5	7	8	8	2	1
01:00	3	5	5	9	7	5	3	8	2	10	6	5	7	8	8	3	2
02:00	3	6	5	9	8	4	3	8	2	10	6	5	6	9	8	4	2
03:00	3	6	5	9	8	4	3	8	2	10	6	5	6	8	8	2	3
04:00	2	6	5	9	8	4	3	8	2	10	6	5	6	8	8	3	2
05:00	2	6	6	10	8	4	4	9	2	10	6	5	6	8	8	1	2
06:00	4	7	5	9	8	5	4	9	2	10	6	5	6	8	8	1	2
07:00	3	6	6	7	8	5	4	7	2	10	6	5	7	7	8	1	1
08:00	2	4	6	7	7	5	4	7	2	10	7	5	8	7	7	1	0
09:00	1	3	5	6	7	4	3	7	2	10	8	5	5	5	6	1	0
10:00	1	3	4	4	8	3	4	7	0	10	8	7	5	4	5	0	0
11:00	1	3	4	4	7	3	3	7	0	10	7	8	4	2	5	1	0
12:00	1	3	4	4	7	3	3	7	0	9	7	8	3	2	5	0	0
13:00	1	2	4	4	7	3	1	7	0	8	5	7	3	2	5	0	0
14:00	1	2	5	5	8	3	2	7	1	8	7	7	3	2	5	0	0
15:00	1	3	5	6	8	3	2	7	1	9	5	6	3	3	5	0	1
16:00	2	4	5	8	8	3	7	8	1	10	6	6	4	4	5	0	1
17:00	2	4	5	8	7	4	6	7	2	10	6	5	4	5	6	0	1
18:00	2	4	5	9	8	4	6	7	3	10	6	4	5	6	6	2	2
19:00	3	4	5	9	7	4	5	7	3	10	7	4	5	6	7	1	1
20:00	3	4	5	9	7	4	3	7	2	10	7	4	6	7	7	1	1
21:00	3	3	6	9	7	4	3	7	1	10	7	4	7	7	7	1	1
22:00	3	4	5	9	8	4	4	7	1	10	8	4	8	8	7	1	1
23:00	3	6	6	9	7	4	4	7	2	10	7	4	7	9	7	1	0

Le potential snowmaking hours si concentrano spesso, come nel caso riportato in Tabella 2, nella parte centrale della stagione (prima decade di Febbraio). Tuttavia sarebbe necessario avere un manto nevoso ben prima di questo periodo.

Per questo motivo, l'innovazione nel campo dell'innevamento programmato sta lavorando su due fronti:

1. lo sviluppo di macchine in grado di lavorare sempre meglio alle temperature più prossime a $T_{wb} = -2$ °C (dette anche "temperature marginali");
2. il potenziamento di impianti di adduzione e l'ampliamento del parco macchine, in modo da produrre tutta la quantità di neve necessaria a stendere un manto a inizio stagione nel minor tempo possibile (l'obiettivo progettuale negli impianti moderni è, di solito, di 48 ore).

2.2.3 Studi disponibili

Mentre la carbon footprint degli impianti di risalita è facilmente riconducibile all'energia consumata dal motore, così come per la battitura delle piste, in cui l'anidride carbonica emessa è relazionata al consumo del gatto, per l'innevamento artificiale la valutazione delle emissioni di CO₂ è molto più complessa e controversa.

Per capire quali fasi siano più impattanti quando si produce neve tecnica si riporta un elaborato

che ha come tematica principale l'impatto ambientale prodotto dagli impianti di innevamento. Lo studio "Carbon e Water Footprint di impianti di innevamento programmato" (effettuato da dei ricercatori dell'Enea su 3 impianti in condizioni operative e aree geografiche diverse nelle stagioni 2014-2015 e 2015-2016) ha portato questi risultati (Corrado Fontana, 2020).

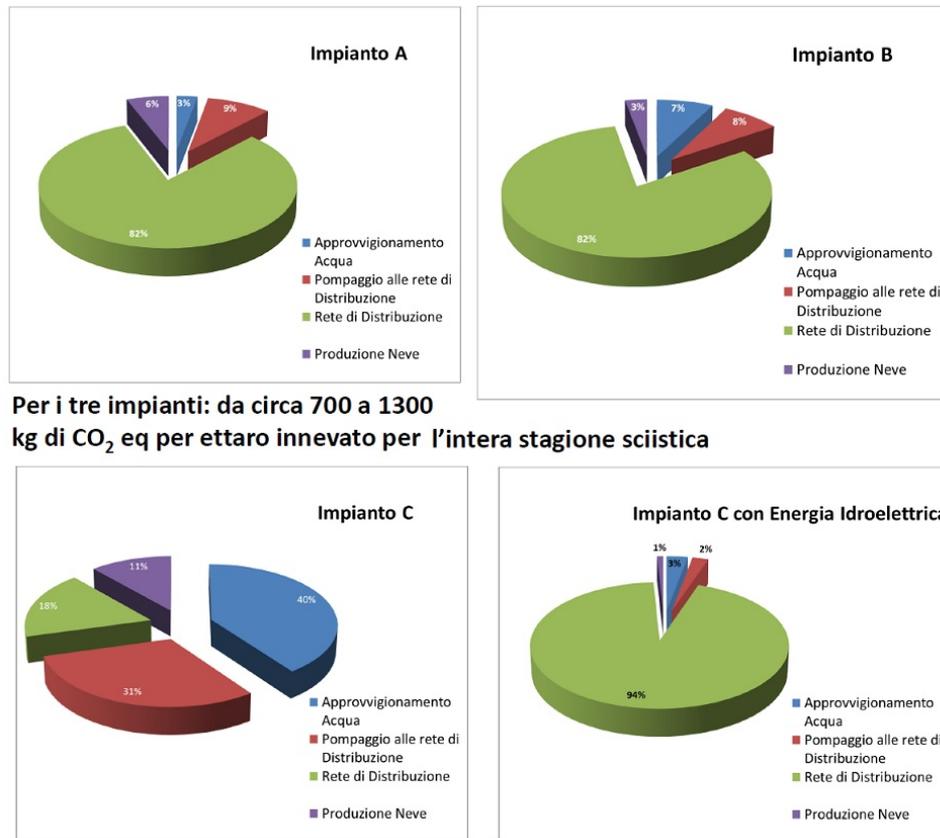


Figura 25: Risultato dello studio "Carbon e Water Footprint di impianti di innevamento programmato". Gli impianti A e B sono idroelettrici, l'impianto C invece è alimentato con energia fossile (Corrado Fontana, 2020).

Osservando la figura 25 emerge che i tre impianti hanno una carbon footprint che varia da 700 a 1300 chilogrammi per ogni ettaro innevato durante l'intera stagione sciistica. In questo caso il parametro discriminante è la fonte energetica con la quale viene prodotta l'energia elettrica necessaria. Dei 3 impianti, infatti, uno solo è alimentato con energia fossile (impianto C), e proprio per questo nel computo dei suoi contributi alle emissioni di GHG la voce del prelievo e del pompaggio dell'acqua sono le più sostanziose (rispettivamente col 40% e il 31%).

Per gli altri due impianti (impianto A e B), alimentati da energia idroelettrica e quindi rinnovabile, a incidere maggiormente nella produzione di anidride carbonica sono invece i processi per realizzazione dei materiali della rete di distribuzione (le condotte), per l'82%. Una percentuale che aumenta al 94% simulando che anche l'impianto C funzioni grazie all'energia idroelettrica. Ciò significa che parlando di innevamento programmato associato a sistemi idroelettrici, la produzione dell'acciaio per la rete di distribuzione, i movimenti terra necessari per installarla, comportano nell'arco di vita di un impianto di innevamento la stragrande maggioranza degli impatti.

2.3 Battitura delle piste

2.3.1 I mezzi battipista

I primi gatti delle nevi sono comparsi sulle piste italiane agli inizi degli anni 60, da allora la tecnologia ha compiuto passi da gigante che ha portato alla creazione di macchine di un'efficienza e precisione incredibili.

I macchinari più moderni solo lunghi circa nove metri, larghi 6, pesano intorno alle 14 tonnellate e hanno motori che possono erogare fino a 530 cavalli di potenza. Le parti principali che li compongono sono (figura 26):

1. *lama*: ovvero la pala posizionata nell'estremità anteriore del mezzo, utilizzata per spostare e raccogliere la neve. E' azionata da un joystick che le permette fino a 12 tipologie di movimento diverso.
2. *fresa*: utilizzata per tritare la neve nelle dimensioni volute e, mescolandola all'aria, nelle percentuali definite dall'esperienza del 'gattista', lascia la pista levigata.
3. *finisher*: costituito da una striscia di gomma che pressa la neve appena depositata dalla fresa e vi conferisce le tipiche scanalature che presenta una pista appena battuta.
4. *verricello*: composto da un cavo d'acciaio che può essere lungo fino a 1.2 km con una potenza di tiro prossima alle 4.5 tonnellate (un terzo del peso totale del gatto). Questo strumento permette alla macchina di riuscire a battere piste con una pendenza anche del 100%, quando utilizzato, però, aumenta notevolmente il consumo di carburante.
5. *cingoli*: oltre a migliorare il grip su ogni tipo di terreno, permettono anche di distribuire l'enorme peso del mezzo su una superficie molto ampia, così da evitare al gatto di sprofondare anche nella neve più soffice.
6. *cabina di comando*: zona in cui il conducente può manovrare e monitorare ogni funzione del mezzo batti-pista.
7. *software e sensori* : sono in grado di segnalare in tempo reale lo spessore della neve sulla pista, questo risulta fondamentale al gattista per capire dove va aggiunta più neve e da dove recuperarla.



Figura 26: Componenti che costituiscono un mezzo batti-pista

2.3.2 La battitura della pista

Il tempo impiegato per battere un pista dipende molto dalla pendenza del tracciato, da quanta e in che maniera è disposta la neve da sistemare e dalle capacità del conducente. Come riportato nell'intervista in appendice, in media, il tempo previsto per lavorare un pendio è di 3-5 ore/km con un consumo che si aggira intorno ai 20-25 l/h. All'interno di questo processo si possono delineare 4 fasi ben precise:

- **ridistribuzione e trasporto mirato della neve:** la lama distribuisce, sposta e rimescola in modo uniforme la neve (figura 27);



Figura 27: Prima fase della battitura delle piste in cui la lama distribuisce uniformemente la neve

- **compattazione e macromiscelamento della neve smossa:** i cingoli, grazie al peso del gatto delle nevi, provvedono a pressare la neve frantumata e smossa (figura 28);



Figura 28: Seconda fase in cui sono i cingoli a compattare la neve appena smossa dalla lama

- **miscelazione e frantumazione di ghiaccio e neve dura:** la fresa frantuma ulteriormente i pezzi di ghiaccio e la neve dura compattata dai cingoli e li miscela finemente (figura 29);



Figura 29: Penultima fase in cui la fresa entra in funzione per frantumare ulteriormente la neve più compatta

- **finitura:** il finisher provvede a conferire al manto nevoso l'aspetto desiderato con tanto di scanalature (figura 30);



Figura 30: Fase finale in cui con l'utilizzo del finisher si crea un perfetto manto nevoso

In media, in ogni stazione sciistica, è presente un gatto delle nevi ogni 3-4 km di pista da battere all'interno del comprensorio.

3 Stima della carbon footprint in una stazione sciistica

3.1 Carbon Footprint e Global Warming Potential (GWP)

La Carbon Footprint di un'attività è un indicatore delle emissioni di gas serra ad essa associate e quindi del suo impatto sul cambiamento climatico.

L'anidride carbonica non è l'unico gas responsabile dei cambiamenti climatici, ne esistono degli altri (figura 31).

- Metano (CH_4)
- Protossido di azoto (N_2O)
- Idrofluorocarburi (HFC)
- Esafluoruro di zolfo (SF_6)
- Perfluorocarburi (PFC)

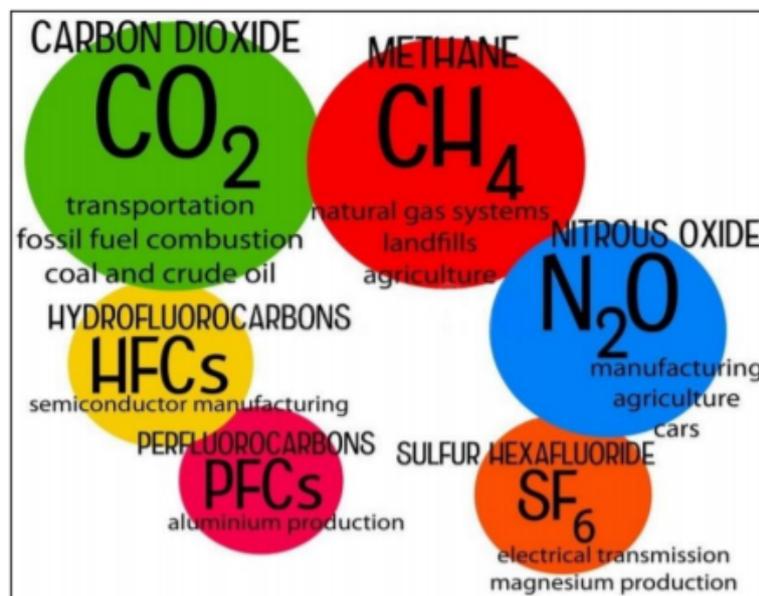


Figura 31: Tipologie di GHG che influenzano il riscaldamento globale e rispettivi settori d'origine (Vladimir Budinsky, 2011).

Il contributo al cambiamento climatico di ciascuno di questi gas è differente e, poiché l'anidride carbonica viene emessa in quantità nettamente preponderante sugli altri gas serra, questi ultimi vengono trasformati in "CO₂ equivalente", cioè una quantità di CO₂ che ha un pari effetto sul clima. L'effetto sul clima viene calcolato in due modi: il Global Warming Potential, cioè l'effetto di accumulo termico in atmosfera in un certo arco temporale (salvo diversa indicazione, 100 anni), e il Global Temperature Potential, cioè l'effetto di incremento della temperatura al termine di tale arco temporale. Ad esempio, il GWP a 100 anni del protossido di azoto (N₂O) è di 265, e ciò significa che 1 kg di N₂O ha un effetto di accumulo termico in atmosfera in 100 anni pari a quello di 265 kg CO₂ e, quindi, 1 kg N₂O = 265 kg CO_{2eq}. Il GWP, indicatore molto più comune, è stato utilizzato nell'analisi condotta in questa tesi.

Come riportato poc'anzi, il GWP e il GTP sono riferiti a un certo arco temporale, e ciò serve a tenere in conto che i tempi di residenza in atmosfera dei gas serra sono molto diversi tra loro: per esempio, la CO₂ ha un tempo di residenza in atmosfera dell'ordine di 100 anni, mentre il CH₄ molto più breve, circa 12 (Arpa Lombardia, 2018).

Considerando quindi diversi lassi temporali, sarà differente il contributo climalterante apportato da ogni gas: se si ragiona per brevi periodi di tempo (20 anni per esempio), tutte le sostanze che in atmosfera hanno bassi tempi di residenza, forniranno un contributo al global warming maggiore se confrontato con un'analisi riferita ad un arco temporale più lungo (ad esempio 500 o 1000 anni), laddove sicuramente le sostanze più stabili acquisiranno un peso maggiore.

3.2 Fattori di emissione di gas serra

3.2.1 Fattore di emissione della rete elettrica

Per stimare le emissioni di gas a effetto serra per unità di attività disponibile, è necessario introdurre il concetto di fattore di emissione (EF). Il fattore di emissione di gas serra (o di inquinanti) riferito a una certa attività è la quantità di emissioni per unità di prodotto: nel caso di produzione di energia, ad esempio, si utilizzerà come indicatore i $\text{gCO}_{2eq}/\text{kWh}$, mentre per la fabbricazione di un bene si possono utilizzare i $\text{gCO}_{2eq}/\text{unità}$ o i $\text{gCO}_{2eq}/\text{kg}$ di prodotto.

Nel caso di una stazione sciistica, i servizi che comportano il consumo maggiore di energia elettrica, come anticipato in precedenza, sono in primis gli impianti di risalita seguiti subito dopo da quelli di innevamento programmato.

Mentre il funzionamento di seggiovie, cabinovie e skilift, avviene durante il giorno, la produzione di neve artificiale può avvenire in fasce orarie differenti, anzi, generalmente si sfruttano di più le ore notturne per avere temperature più fredde e poter lasciare libera la pista all'utenza durante il giorno. Esistono infatti due tipologie di innevamento programmato:

- **Innevamento di massa:** Avviene soprattutto all'inizio della stagione sciistica e consiste nella produzione di neve, per un periodo di circa 60 ore, in maniera continua, sia di giorno che di notte, con il fine di produrre un quantitativo di neve sufficiente per creare un fondo compatto.
- **Innevamento di ripristino:** Intervento fatto per mantenere una copertura di neve equamente distribuita. Viene realizzato per settori, programmando anticipatamente quando e dove effettuarlo. Tale azione avviene principalmente di notte, quando non sono presenti sciatori sulle piste.

Nel calcolo del fattore di emissione quindi, è significativo evidenziare che, quando il consumo di elettricità avviene di giorno, vi è un maggiore contributo delle energie rinnovabili dato dall'energia fotovoltaica, che riduce il fattore di emissione di gas serra della rete elettrica rispetto alle ore notturne, in cui il contributo delle fonti fossili è più elevato.

Inoltre, è indubbio che ottenere energia rinnovabile (in particolare solare) nel periodo invernale sia molto più difficile che farlo d'estate quando le giornate sono più lunghe e calde. Sicuramente quindi il consumo di energia elettrica da novembre ad aprile (periodo in cui le stazioni sciistiche sono aperte) sarà molto più impattante che nelle altre stagioni.

Per ottenere un fattore di emissione più rappresentativo delle condizioni incontrate durante la stagione invernale, si è quindi concepito un metodo di calcolo del fattore emissivo orario. Dal sito di Terna (Terna, 2020) sono stati reperiti i dati relativi ai 6 mesi di attività sciistica (1 novembre-13 Aprile 2018-2019), della produzione energetica in Italia, divisa per le diverse fonti di provenienza e ripartita nelle varie ore del giorno, come riportato nel formato mostrato in tabella 3. Il periodo di interesse è stato poi suddiviso in periodi di 10 giorni, per un totale di 17 decadi.

Tabella 3: Esempio di andamento giornaliero della produzione elettrica da differenti fonti energetiche. Fonte: TERNA

Ore	Biomasse		Gas derivato da carbone fossile		Gas fossile		Carbone fossile		Olio fossile		Geotermia		Idroelettrico da sbarramento		Idroelettrico da fiume		Idroelettrico con stoccaggio in bacino di accumulo		Altro		Solare		Eolico Offshore		Eolico Onshore	
	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]
00:00 - 01:00	377,5	178,4	8540,8	3427,9	198	662,7	81,6	1317	138,6	7678,3	0	48,5	1512,7													
01:00 - 02:00	376,4	179,3	7648,1	3378,4	191,8	662,8	32,7	1180,1	70	7376,8	0	47,3	1514,2													
02:00 - 03:00	375,6	179,6	7200	3261,6	184,5	665,8	16,1	1098,9	59,8	6996,1	0	47,5	1506,6													
03:00 - 04:00	375,3	180	7004,9	3158,8	178	666,9	2,7	1096,2	53	6713,7	0	46,3	1500,5													
04:00 - 05:00	372,1	171,2	7188,8	3139,9	181	666,9	16,3	1122,4	60,9	6687,6	0	45,3	1511,4													
05:00 - 06:00	375,2	163	7962,2	3383,6	177,3	667	27,8	1154,2	95,4	7229,2	0	45,3	1438,8													
06:00 - 07:00	373,5	165,6	9552,6	3603,1	178,3	666,5	130,3	1432,4	263,9	8343,5	13,8	44	1415,7													
07:00 - 08:00	373,7	167,4	11029,8	3530,3	189,3	665,8	235	1997,6	590,8	9125,3	602,9	44	1325,5													
08:00 - 09:00	375,3	169,1	11379,3	3451	198,2	665,2	378,6	2655,7	818,5	9251,6	2315,3	44,1	1190,1													
09:00 - 10:00	375,5	171,4	11345,8	3390,8	194,4	662,9	344	2786,6	879,5	9305	3835,6	44,5	1153,4													
10:00 - 11:00	374,5	168,4	11073,5	3329,8	204,2	660,3	291	2558,2	815,2	9335,3	4716,4	42,8	1217,5													
11:00 - 12:00	375,9	173,6	10930,2	3318,4	220,7	659,1	239,6	2403,3	718,7	9472,8	4882,1	43,8	1304,2													
12:00 - 13:00	374,1	167,1	10761,5	3282,4	234,8	658,5	162,3	2162,9	692,4	9338,5	4611,9	43,9	1421,8													
13:00 - 14:00	372,9	168,6	10803,7	3250,9	253,5	652	110,5	1970,3	555,3	9198,6	4083,4	43,6	1510													
14:00 - 15:00	375,5	174,3	11150,5	3266,1	260,8	651,1	138,6	2027,7	620,5	9439,9	3162,8	43,2	1496,3													
15:00 - 16:00	375,4	176	11753,4	3379,5	279,8	653,2	222,1	2237,7	702,9	9782,2	1639	44,2	1466,9													
16:00 - 17:00	376,2	177,8	12284,3	3505,3	261,5	656,9	882,8	2900,2	927,5	10034,9	245,2	45	1414													
17:00 - 18:00	379,5	178,7	12616,3	3585,3	281,4	660,5	1521,7	3932,7	1269	10483,6	4,7	45,8	1384,9													
18:00 - 19:00	379,8	177,1	12757,2	3557,4	297,4	659,5	1604,5	4152,8	1133,1	10545,3	0	43,9	1322,4													
19:00 - 20:00	379,5	182,8	12661,7	3518,6	273,2	663,6	1405,1	3847,1	962,7	10453,4	0	45,5	1309,8													
20:00 - 21:00	379	184,6	12473,2	3470,9	270,1	664,9	492,8	3070,7	714,5	10049,3	0	45,3	1386,5													
21:00 - 22:00	379,7	183,1	12030,1	3445,6	262,5	664,8	109	2222,9	419,5	9682,8	0	45,5	1487,3													
22:00 - 23:00	379,4	183,6	11028,3	3455,4	259,7	664,7	89,9	1755,8	295,5	9306,7	0	47,4	1412													
23:00 - 00:00	377,9	185,2	10021,9	3416,2	241,7	663,2	80,9	1552,3	194,2	8502,5	0	46,8	1451,5													

Sono quindi stati ricavati 17 prospetti (mantenendo lo stesso formato di tabella 3) mediando il valore di produzione oraria di ciascuna fonte all'interno della decade e ottenendo quindi un unico profilo di produzione rappresentativo di quel periodo. A partire dai fattori di emissione delle singole fonti, riportati in tabella 4 (ISPRA, 2020), sono stati calcolati i fattori di emissione medi per ciascuna ora del giorno, all'interno di ciascuna decade. Tali fattori di emissione sono quindi una media pesata sulla potenza prodotta da ciascuna fonte.

Tabella 4: Fattori di emissione relativi alle diverse fonti energetiche

Fonte energetica	Fattore di emissione (KgCO₂/MWh)
Biomassa	50,9
Carbone fossile derivato	1167
Gas fossile	583
Carbone fossile	1167
Olio fossile	1033
Geotermia	0,00664
Idroelettrico	589,2
Idroelettrico da fiume	16,2
Idroelettrico con stoccaggio in bacino di accumulo	16,2
Altro*	583,2
Solare	0,0041
Eolico Onshore	330
Eolico offshore	0,141

Si riporta a titolo d'esempio in tabella 5 il risultato ottenuto per la terza decade di dicembre.

Tabella 5: Fattori di emissione che tengono conto dei diversi impatti ambientali generati dalle diverse fonti di produzione

Ora	Fattore di emissione mediato (KgCO ₂ /MWh)
00:00 - 01:00	583,06
01:00 - 02:00	579,49
02:00 - 03:00	571,84
03:00 - 04:00	563,01
04:00 - 05:00	559,74
05:00 - 06:00	562,49
06:00 - 07:00	562,79
07:00 - 08:00	544,38
08:00 - 09:00	513,84
09:00 - 10:00	486,43
10:00 - 11:00	471,03
11:00 - 12:00	463,46
12:00 - 13:00	469,68
13:00 - 14:00	480,57
14:00 - 15:00	498,58
15:00 - 16:00	530,04
16:00 - 17:00	546,05
17:00 - 18:00	531,44
18:00 - 19:00	529,18
19:00 - 20:00	537,28
20:00 - 21:00	556,07
21:00 - 22:00	573,61
22:00 - 23:00	579,71
23:00 - 00:00	581,97

In figura 32 è rappresentato l'andamento medio giornaliero dei fattori di emissione, sempre per la terza decade di dicembre presa come esempio, che conferma quanto precedentemente affermato ovvero che tali valori sono alti di notte, ma minimi durante le ore centrali della giornata.

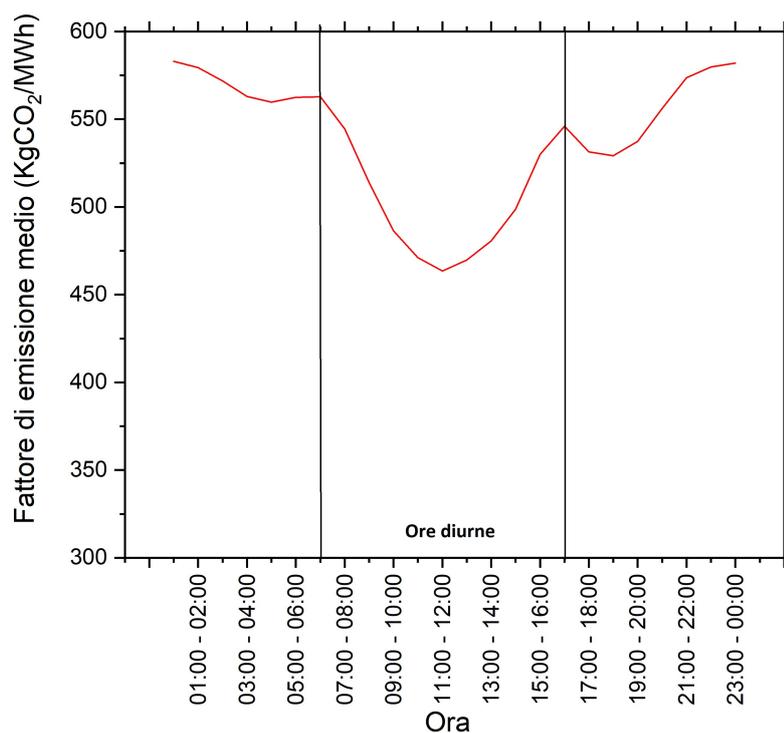


Figura 32: Andamento giornaliero dei fattori di emissione della rete elettrica italiana nel periodo 1 novembre-13 aprile

In tabella 6 si riportano i fattori di emissione medi per ciascuna delle 17 decadi, con valori compresi tra 429,20 e 547,06 kgCO₂eq./MWh e una media di 493,54 kgCo₂eq./MWh, che è successivamente stata utilizzata come indicatore per la stima della Carbon Footprint di 5 stazioni sciistiche.

Tabella 6: Fattore di emissione medio stagionale e fattori di emissione medi di ogni decade

Decade	Fattore di emissione medio (KgCO ₂ /MWh)
I (1-10 nov)	538,24
II (11-20 nov)	536,49
III (21-31 nov)	531,82
IV (1-10 dic)	547,06
V (11-20 dic)	496,87
VI (21-31 dic)	482,49
VII (1-10 gen)	473,76
VIII (11-20 gen)	491,74
IX (21-31 gen)	513,24
X (1-10 feb)	477,94
XI (11-20 feb)	509,71
XII (21-28 feb)	522,05
XIII (1-10 mar)	493,39
XIV (11-20 mar)	458,62
XV (21-31 mar)	455,61
XVI (1-10 apr)	429,20
XVII (10-13 apr)	431,99
Media stagionale	493,54

3.2.2 Fattore di emissione dei mezzi a gasolio

Al di là però del consumo di energia elettrica, come evidenziato nel Capitolo 2, la battitura delle piste è una delle tre attività principali dal punto di vista dell'impatto sul clima. I mezzi battipista, infatti, consumano grandi quantità di gasolio a causa del loro peso e delle condizioni operative difficili (pendenza, aderenza ecc.). Il fattore di emissione considerato è pari a 2.62 tCO₂/m³ di gasolio (ISPRA 2020).

Il consumo energetico dei mezzi, sia per unità di tempo che di lunghezza di pista percorsa, varia significativamente a seconda delle condizioni. Quando il mezzo si troverà a battere tratti più ripidi dove è richiesto anche l'uso del verricello il consumo di gasolio e quindi la produzione di gas serra sarà maggiore, al contrario, quando invece dovrà lavorare aree più pianeggianti il consumo sarà inferiore.

3.3 Stima della carbon footprint in 5 casi studio

Sulla base dei ragionamenti e dei calcoli fatti in precedenza, si è deciso di valutare la carbon footprint di 5 comprensori caratterizzati da differenti dimensioni e situati in diverse zone d'Italia che però per motivi di privacy verranno lasciati in forma anonima.

Il fine è quello di determinare la CO₂ emessa per singolo sciatore che ha frequentato il comprensorio in quella stagione e di fornire un ordine di grandezza dei consumi energetici in relazione ai chilometri di pista presenti e al dislivello complessivo degli impianti di risalita di ogni stazione.

3.3.1 Primo caso studio

Il primo caso studio vede in esame un comprensorio caratterizzato da 80km di piste che, data l'estensione, può essere considerato una stazione di medie dimensioni.

All'interno del bilancio di esercizio della stazione stessa, sono stati reperiti i dati relativi al consumo di energia elettrica e carburante come mostrato in tabella 7.

Tabella 7: Estratto del bilancio di esercizio contenete le voci di consumo di energia elettrica e carburante

	Stagione 2018-2019	Stagione 2017-2018
Carburante (gasolio) (€)	356 870	308 402
Energia elettrica (€)	679 816	584 466
n.sciatori	199 890	180 390

In questo caso e nella maggior parte di quelli che seguono, non sono riportati i valori di consumo ma i costi sostenuti. Per convertire quindi i costi in consumi, sono stati utilizzati il costo medio dell'energia elettrica in Italia, per consumatori industriali, pari a 198.4 €/MWh (Relazione Annuale ARERA-elaborazione su dati Eurostat, 2019) e il prezzo medio del carburante nel 2018, ovvero 1.48 €/l (Ministero dello sviluppo economico: prezzi medi mensili dei carburanti e combustibili, 2020). Si ricavano quindi i seguenti consumi stimati e le emissioni di CO₂ ad essi associate per la stagione 2018-2019:

-Energia elettrica consumata:

$$\frac{679\,816\text{€}}{198.4\text{€/MWh}} = 3\,426,49\text{ MWh} \quad (3)$$

-Carburante consumato:

$$\frac{356\,870\text{€}}{1.48\text{€/l}} = 241\,128,38\text{ l} \quad (4)$$

-CO₂ prodotta dal consumo di energia elettrica:

$$3\,426,49 \text{ MWh} \times 493,55 \text{ KgCO}_2/\text{MWh} = 1\,691\,144 \text{ KgCO}_2 \quad (5)$$

-CO₂ prodotta dal consumo di gasolio per battere la pista:

$$241\,128,38 \text{ l} \times 2,62 \text{ KgCO}_2/\text{l} = 631\,756 \text{ KgCO}_2 \quad (6)$$

Conoscendo il numero di biglietti venduti in una stagione, dato anch'esso disponibile all'interno del bilancio di esercizio, è possibile determinare l'anidride carbonica prodotta per singolo sciatore.

- CO₂ complessiva prodotta da ogni singolo sciatore:

$$\frac{1\,691\,144 \text{ KgCO}_2 + 631\,756 \text{ KgCO}_2}{199\,890 \text{ sciatori}} = 11,62 \text{ KgCO}_2/\text{sciatore} \quad (7)$$

Conoscendo anche per la stagione 2017-2018 il prezzo medio del carburante (1.54 €/l), il costo dell'energia al kWh (195.7 €/MWh) e avendo calcolato pure in questo caso il fattore di emissione sulla base della potenza prodotta da ciascuna fonte (498.2 KgCO₂/MWh), è possibile ottenere il valore di KgCO₂/sciatore anche per la suddetta stagione che risulta essere pari a 11.15 KgCO₂/sciatore (il fattore che permette di convertire i litri di carburante in anidride carbonica è rimasto costante e pari a 2,62 KgCO₂/l).

Se si considera che un'auto di media cilindrata ha un fattore di emissione pari a 0.113 KgCO₂/km, è evidente di come percorrendo appena 100 km, si produca un quantitativo di anidride carbonica paragonabile a una giornata sugli sci, dimostrando quindi che il problema maggiore dal punto di vista ambientale sta nello spostamento effettuato per raggiungere la località sciistica e non invece nell'attività in sè.

Circa il 73% della CO₂ prodotta, proviene dal consumo di energia elettrica. Questo quindi dimostra che i settori su cui si deve maggiormente puntare, se si vuole limitare la Carbon Footprint, sono quello degli impianti di risalita e dell'innevamento artificiale.

3.3.2 Secondo caso studio

Il secondo caso studio riguarda invece una stazione sciistica con 150 km di piste complessivi e quindi un comprensorio di grandi dimensioni.

Come in precedenza, in tabella 8 si riporta le voci dei costi dell'energia elettrica e del carburante che sono stati consumati in un'intera stagione, da qui è stata ricavata la quantità di CO₂ prodotta per sciatore nella stagione 2018-2019 seguendo gli stessi passaggi effettuati nel capitolo che precede questo.

Tabella 8: Estratto dal bilancio della società che gestisce i servizi della stazione sciistica del secondo caso studio

	Stagione 2018-2019	Stagione 2017-2018
Carburante (gasolio) (€)	493 660	447 974
Energia elettrica (€)	1 393 606	1 141 877
n.sciatori	1 203 741	1 180 303

Utilizzando gli stessi prezzi unitari e gli stessi fattori di emissione dell'esempio precedente, si deducono i seguenti consumi ed emissioni di gas serra:

-Energia elettrica consumata:

$$\frac{1\,393\,606\text{€}}{198.4\text{€}/MWh} = 7\,024,22\text{ MWh} \quad (8)$$

-Carburante consumato:

$$\frac{493\,660\text{€}}{1.48\text{€}/l} = 333\,554,05\text{ l} \quad (9)$$

-CO₂ prodotta dal consumo di energia elettrica:

$$7\,024,22\text{ MWh} \times 493.55\text{ KgCO}_2/MWh = 3\,466\,695,2\text{ KgCO}_2 \quad (10)$$

-CO₂ prodotta dal consumo di gasolio per battere la pista:

$$333\,554,05\text{ l} \times 2,62\text{ KgCO}_2/l = 873\,911,611\text{ KgCO}_2 \quad (11)$$

Conoscendo anche in questo caso il numero di biglietti venduti in una stagione è possibile determinare l'anidride carbonica prodotta per singolo sciatore.

- CO₂ complessiva prodotta da ogni singolo sciatore:

$$\frac{3\,466\,695,2\text{ KgCO}_2 + 873\,911,611\text{ KgCO}_2}{1\,203\,741\text{ sciatori}} = 3.61\text{ KgCO}_2/\text{sciatore} \quad (12)$$

Utilizzando i fattori di conversione presentati al termine del primo esempio, è possibile anche in questo caso calcolare il quantitativo di anidride carbonica prodotta per sciatore nella stagione 2017-2018. Il risultato è molto simile a quello della stagione 2018-2019 ed è pari a 3.11 KgCO₂/sciatore.

Rispetto al precedente caso studio, si osserva un'impronta di carbonio per sciatore decisamente più ridotta, dovuta probabilmente alle "economie di scala" di un comprensorio più grande, che ha un tasso di utilizzo più elevato degli impianti di risalita e della superficie di piste battute.

Un valore di 3.61 KgCO₂/sciatore significa che già percorrendo 35 km con l'auto si produce un quantitativo di gas serra maggiore di quello generato da una giornata sugli sci, dimostrando ancora una volta come, questo tipo di attività, abbia un impatto ambientale ridotto, in contraddizione con quello che si può pensare, valutando tutta la serie di servizi che stanno dietro a questo sport.

KgCO₂/sciatore.

3.3.3 Terzo caso studio

Il terzo caso analizzato è un comprensorio medio-piccolo con circa 50 km di piste, e fra tutti è quello con il numero più basso di sciatori in una stagione. Per tali caratteristiche questo caso può essere considerato rappresentativo per i piccoli comprensori sciistici. Nella tabella 9 si riporta direttamente dal bilancio della stagione 2018-2019 e da quella 2017-2018 i costi dell'energia elettrica e del carburante consumato.

Tabella 9: Estratto dal bilancio della società che gestisce il comprensorio del terzo caso studio

	Stagione 2018-2019	Stagione 2017-2018
Carburante (gasolio) (€)	140 069	215 313
Energia elettrica (€)	305 941	269 527
n.sciatori	128 537	136 522

Da qui si può procedere con gli stessi calcoli utilizzando i medesimi valori per quanto riguarda il fattore di emissione, i costi del carburante e quelli dell'energia elettrica consumata nella stagione

2018-2019.

-Energia elettrica consumata:

$$\frac{305\,941\text{€}}{198.4\text{€/MWh}} = 1\,542,04\text{ MWh} \quad (13)$$

-Carburante consumato:

$$\frac{140\,069\text{€}}{1.48\text{€/l}} = 94\,641,22\text{ l} \quad (14)$$

-CO₂ prodotta dal consumo di energia elettrica:

$$1\,542,04\text{ MWh} \times 493.55\text{ KgCO}_2/\text{MWh} = 761\,695,2\text{ KgCO}_2 \quad (15)$$

-CO₂ prodotta dal consumo di gasolio per battere la pista:

$$94\,641,22\text{ l} \times 2,62\text{ KgCO}_2/\text{l} = 247\,960\text{ KgCO}_2 \quad (16)$$

Basandosi di nuovo sui biglietti venduti in una stagione è possibile anche in questo caso ricavare l'anidride carbonica prodotta per sciatore.

- CO₂ complessiva prodotta da ogni singolo sciatore:

$$\frac{761\,695,2\text{ KgCO}_2 + 247\,960\text{ KgCO}_2}{128\,537\text{ sciatori}} = 7.85\text{ KgCO}_2/\text{sciatore} \quad (17)$$

Il risultato di CO₂/sciatore calcolato si colloca a metà tra i due precedenti.

Utilizzando di nuovo i fattori di conversione relativi alla stagione 2017-2018, anche in questo caso è possibile determinare l'anidride carbonica emessa durante tale periodo. Il risultato è di 7.70 KgCO₂/sciatore.

3.3.4 Quarto caso studio

Il quarto caso studio, come il precedente, può essere considerato rappresentativo per i piccoli comprensori sciistici dal momento che, anche questa volta, la stazione offre allo sportivo circa 50 km di piste su cui sciare.

Con il bilancio d'esercizio (tabella 10) e utilizzando i fattori di conversione visti fin ora, è stato nuovamente calcolato il quantitativo di CO₂ emessa per singolo sciatore.

Tabella 10: Estratto dal bilancio della società che gestisce i servizi della stazione del quarto caso studio

	Stagione 2018-2019	Stagione 2017-2018
Carburante (gasolio) (€)	400 000	451 297
Energia elettrica (€)	1 166 264	1 060 005
n.sciatori	481 000	484 000

-Energia elettrica consumata:

$$\frac{1\,166\,264\text{€}}{198.4\text{€/MWh}} = 5\,878\text{ MWh} \quad (18)$$

-Carburante consumato:

$$\frac{400\,000\text{€}}{1.48\text{€/l}} = 270\,270\text{ l} \quad (19)$$

-CO₂ prodotta dal consumo di energia elettrica:

$$5\,878\text{ MWh} \times 493.55\text{ KgCO}_2/\text{MWh} = 2\,901\,087\text{ KgCO}_2 \quad (20)$$

-CO₂ prodotta dal consumo di gasolio per battere la pista:

$$270\,270\text{ l} \times 2,62\text{ KgCO}_2/\text{l} = 708\,107\text{ KgCO}_2 \quad (21)$$

Conoscendo i biglietti venduti in una stagione si ricava l'anidride carbonica prodotta per sciatore.

- CO₂ complessiva prodotta da ogni singolo sciatore:

$$\frac{2\,901\,087\text{ KgCO}_2 + 708\,107\text{ KgCO}_2}{481\,000\text{ sciatori}} = 7.50\text{ KgCO}_2/\text{sciatore} \quad (22)$$

Anche qui, utilizzando i valori relativi alla stagione 2017-2018, è stato calcolato il quantitativo di anidride carbonica emessa per sciatore. Come nei tre casi precedenti il valore ottenuto è molto simile a quello calcolato per la stessa stazione nell'anno 2018-2019 ed è pari a 7.16 KgCO₂/sciatore.

Questi ultimi valori ottenuti per la stagione 2018-2019 e per quella 2017-2018 sono molto simili a quelli ottenuti nel caso studio precedente che per altro ha lo stesso chilometraggio di piste. Anche in questo caso la discussione relativa ai risultati viene rimandata all'ultimo capitolo.

3.3.5 Quinto caso studio

Nell'ultimo caso studio proposto, ripetendo gli stessi passaggi, si esamina nuovamente quello che può essere definito un grande comprensorio composto da circa 150 km di piste. Sempre partendo dal bilancio di esercizio (tabella 11) si calcola quanta anidride carbonica viene emessa per singolo sciatore.

Tabella 11: Estratto dal bilancio della società che gestisce il comprensorio del quinto caso studio

	Stagione 2018-2019	Stagione 2017-2018
Carburante (gasolio) (€)	483 321	421 843
Energia elettrica (€)	100 896	863 417
n.sciatori	455 000	383 000

-Energia elettrica consumata:

$$\frac{1\,000\,896\text{€}}{198.4\text{€}/\text{MWh}} = 5\,045\text{ MWh} \quad (23)$$

-Carburante consumato:

$$\frac{483\,321\text{€}}{1.48\text{€}/\text{l}} = 326\,568\text{ l} \quad (24)$$

-CO₂ prodotta dal consumo di energia elettrica:

$$5\,045\text{ MWh} \times 493.55\text{ KgCO}_2/\text{MWh} = 2\,489\,959\text{ KgCO}_2 \quad (25)$$

-CO₂ prodotta dal consumo di gasolio per battere la pista:

$$326\,568\text{ l} \times 2,62\text{ KgCO}_2/\text{l} = 855\,608\text{ KgCO}_2 \quad (26)$$

Conoscendo i biglietti venduti in una stagione si ricava l'anidride carbonica prodotta per sciatore.

- CO₂ complessiva prodotta da ogni singolo sciatore:

$$\frac{2\,489\,959\text{ KgCO}_2 + 855\,608\text{ KgCO}_2}{455\,000\text{ sciatori}} = 7.35\text{ KgCO}_2/\text{sciatore} \quad (27)$$

Pure nell'ultimo caso è stata calcolata la carbon footprint relativa alla stagione 2017-2018, il risultato anche in questa occasione è stato molto simile a quello calcolato per la stagione 2018-2019 con 7.61 KgCO₂/sciatore.

Perciò, nonostante la vasta estensione della stazione, si è ottenuto un quantitativo di anidride carbonica per sciatore lontana da quella del secondo caso studio che, per chilometraggio di piste, è molto simile a questa.

Per capire il perché è necessario normalizzare i dati ottenuti nelle elaborazioni fatte fin'ora così da poter rendere possibile il confronto tra i cinque comprensori.

3.4 Discussione sui casi studio

I cinque casi studio presentati nei precedenti paragrafi evidenziano situazioni molto differenti per dimensioni del comprensorio, numero di sciatori ecc. Tuttavia, è possibile individuare ordini di grandezza dei valori unitari di consumi energetici, che permettono di effettuare stime speditive su altri comprensori sulla base di dati facilmente reperibili quali i km di piste e il dislivello complessivo degli impianti.

Tali valori, per la stagione 2018-2019, sono riportati in tabella 12.

E' importante però, prima di iniziare il confronto, fare una precisazione: nella voce del consumo dell'energia elettrica è presente anche il contributo speso per l'innevamento programmato. In nessuno dei bilanci analizzati viene scorporato il consumo dell'innevamento programmato rispetto a quello degli impianti di risalita, operazione spesso difficile poichè l'utenza elettrica utilizzata è la stessa. Al crescere della lunghezza (e dislivello) degli impianti di risalita, è lecito attendersi una crescita simile delle macchine per l'innevamento e dei consumi.

Secondo quanto calcolato sulla base dei dati presenti, l'87% del consumo elettrico di una stazione sciistica è dovuto agli impianti di risalita, mentre la parte restante è occupata principalmente dall'innevamento programmato e in misura minore da illuminazione, edifici ecc. Ai fini di un'analisi speditiva è quindi accettabile l'approssimazione che tutti i consumi elettrici siano riconducibili agli impianti di risalita.

Tabella 12: Tabella riassuntiva contenete i dati dei 5 comprensori in esame nella stagione 2018-2019.

	I caso studio	II caso studio	III caso studio	IV caso studio	V caso studio
Km di piste	80	150	50	50	152
n. impianti di risalita	14	58	13	12	38
n. sciatori in una stagione	199 890	1 203 741	128 537	481 000	455 000
n. sciatori/km di pista	2 499	8 025	2 571	9 620	2 993
Dislivello complessivo degli impianti di risalita (m)	4 491	19 017	2 825	4 534	11 075
Carburante consumato (l)	241 188	333 554	94 641	270 270	326 568
Elettricità consumata (MWh)	3 426	7 024	1 542	5 878	5 045
Litri di carburante/ km di pista	3 014,85	2 223	1 892	5 405	2 148,47
MWh consumati/m di dislivello	0.763	0.369	0.546	1.30	0.455
KgCO₂/sciatore	11.62	3.61	7.85	7.50	7.35

Come era facile aspettarsi, il secondo caso studio, caratterizzato dalla carbon footprint minore, ha anche il rapporto più basso in termini di consumi per metro di dislivello compiuto dall'impianto di risalita che, nel calcolo dell'anidride carbonica prodotta per sciatore, è il contributo più importante. Ciò è principalmente dovuto alla modernità del comprensorio, 39 dei 58 impianti di questa stazione sono stati costruiti dopo il 2 000. Contrariamente, il quarto comprensorio analizzato, ovvero quello con il rapporto più alto (1.30 MWh/m), ha 8 impianti su 12 costruiti prima del ventunesimo secolo (Skiresort.it, 2020).

Questo dimostra come l'uso di motori nuovi e una componentistica sempre più tecnologicamente avanzata riduca i consumi degli impianti a favore dell'efficienza dell'intero sistema.

Il terzo caso studio è quello caratterizzato dal minor consumo di carburante per km di pista. Ciò potrebbe essere dovuto a diversi fattori, come un numero minore di giorni di apertura o piste di minor pendenza.

Il comprensorio con l'impatto ambientale più alto invece è il primo analizzato che, sebbene non abbia il peggior dato di consumo per energia consumata su metro di dislivello e neppure di carburante per km di pista battuta, presenta il peggior rapporto di kgCO₂/sciatore. Questo dato si spiega con una frequentazione relativamente scarsa del comprensorio, con il minor numero di sciatori per km di pista.

Per completezza, in tabella 13 sono riportati i valori relativi alla stagione 2017-2018.

Tabella 13: Tabella riassuntiva contenete i dati dei 5 comprensori in esame per la stagione 2017-2018

	I caso studio	II caso studio	III caso studio	IV caso studio	V caso studio
Km di piste	80	150	50	50	152
n. impianti di risalita	14	58	13	12	38
n. sciatori in una stagione	180 390	1 180 303	136 522	484 000	383 000
n. sciatori/km di pista	2 254	7 868	2 730	9 680	2 519
Dislivello complessivo degli impianti di risalita (m)	4 491	19 017	2 825	4 534	11 075
Carburante consumato (l)	200 261	290 892	139 813	293 050	273 924
Elettricità consumata (MWh)	2 986	5 834	1 377	5 416	4 411
Litri di carburante/ km di pista	2 503	1 939	2 796	5 861	1 802
MWh consumati/m di dislivello	0.66	0.306	0.546	1.19	0.39
KgCO₂/sciatore	11.15	3.11	7.70	7.16	7.61

Dal confronto tra la tabella 12 e la tabella 13, appare evidente come il paragone tra stagioni diverse di un medesimo comprensorio presenta minime differenze riguardo alla emissioni di gas serra, queste invece presentano discrepanze sostanziali quando si paragonano due diversi comprensori sciistici.

Appare chiaro, pertanto, che non è la presenza in più o meno di sciatori in stagioni differenti o la maggiore o minore produzione di neve artificiale all'interno del medesimo comprensorio a incidere in modo sostanziale sull'aumento della carbon footprint, ma è l'efficientamento dei servizi utilizzati a determinare in maniera evidente l'abbattimento di emissioni nocive in atmosfera.

4 Misure di mitigazione della carbon footprint in una stazione sciistica

All'interno di questo 4 capitolo si espongono delle soluzioni volte a mitigare l'impatto ambientale di una giornata sugli sci. In particolare sono state prese in considerazione due tecniche:

1. Utilizzo di sistemi che prevedono lo sfruttamento di fonti rinnovabili per produrre energia.
2. Utilizzo di tecniche di efficientamento che migliorino le prestazioni e riducano i consumi di ogni servizio.

Tali soluzioni andranno a riguardare le diverse macro-aree che insieme contribuiscono al funzionamento dell'intero comprensorio (impianti di risalita, innevamento programmato, battitura delle piste).

4.1 Produzione e autoconsumo di energia elettrica da fonti rinnovabili

Sulla spinta della necessità di ridurre il proprio impatto ambientale, anche per ragioni d'immagine, sono state numerose le stazioni sciistiche che si sono adoperate per ricavare energia rinnovabile per coprire parte del proprio fabbisogno.

In un contesto montano sono due le principali fonti sfruttabili:

1. **Solare fotovoltaico**: particolarmente utilizzato per i bassi costi di installazione e per la scarsa presenza di ostacoli naturali ad alta quota che potrebbero compromettere l'efficienza dell'impianto.
2. **Idroelettrico**, dal quale si può ricavare energia sia dai fiumi, sia sfruttando le condotte per l'innevamento programmato;

L'eolico, al contrario di quanto si possa pensare, è scarsamente impiegato in quanto, aree di montagna con un'alta ventosità sono solitamente anche poco adatte alla disciplina sciistica e a tutti i servizi che la permettono.

4.1.1 Solare fotovoltaico

La soluzione più semplice e universalmente applicabile per rendere meno impattante il funzionamento degli impianti di risalita è associarci un impianto fotovoltaico che possa alimentare il motore elettrico senza emettere CO₂. Data la presenza certa dei due edifici alla partenza e all'arrivo dell'impianto a fune, queste sono le posizioni tipicamente utilizzate per l'installazione di impianti fotovoltaici; tuttavia, sono presenti anche altre soluzioni meno convenzionali di cui si riporta qualche esempio.

Il primo skilift ecologico costruito si chiama "Solarskilift" (figura 33) ed è costato 1,35 milioni di franchi svizzeri (circa un milione di euro) e due anni di lavori alla Skilift Tenna. L'impianto si sviluppa su una lunghezza di 450 metri e ricava l'energia necessaria al suo funzionamento da 82 pannelli fotovoltaici disposti lungo il percorso che sono stati prontamente ribattezzati "ali solari" per via della loro forma.

I pannelli sono in grado di direzionarsi automaticamente verso il sole per ottenere la massima resa energetica ed in caso di forti nevicate possono essere posizionati verticalmente per evitare accumuli pericolosi per la stabilità della struttura.

Si calcola che l'impianto fornisce complessivamente circa 90 mila kWh di energia all'anno, 25 mila dei quali sono utilizzati per azionare l'impianto di risalita, mentre il rimanente viene ceduto alla rete pubblica.



Figura 33: Svizzera, primo impianto di risalita a funzionare a energia solare.

Un'altro esempio di impianto di risalita alimentato a energia rinnovabile è la Skyway (figura 34) del Monte Bianco, entrata in funzione nel 2015 che conduce i turisti fino ai 3466 m s.l.m. di Punta Helbronner. L'impianto costituito da 84 pannelli ripartiti in circa 120 metri quadrati in grado di generare una potenza di picco pari a 13 kWp.(Tgcom24, 2015)



Figura 34: Funivia solare sul Monte Bianco.

Per offrire una visione completa di cosa significhi, in termini di riduzione dell'impatto ambientale, installare un impianto fotovoltaico, nel sottocapitolo seguente è stato elaborato un caso studio in materia. E' stato ipotizzato di utilizzare l'energia solare per alimentare un impianto di risalita sul Monte Amiata (GR) nel tentativo di evidenziare come tali interventi siano fondamentali

nella mitigazione delle emissioni di carbonio.

4.1.2 Esempio applicativo su un impianto di risalita

Il Monte Amiata è un gruppo montuoso di origine vulcanica, situato nell'Antiappennino toscano, compreso tra le province di Siena e Grosseto.

La seggiovia su cui si vuole simulare l'installazione di un sistema fotovoltaico attualmente presenta un motore da 130 kW, supera un dislivello di 313 m ed è lunga 1440 m. E' in funzione otto ore per un totale di 264 giorni (136 della stagione invernale, dal 1 dicembre al 13 aprile, e 128 di quella estiva, dal 25 maggio al 30 settembre), di conseguenza, il consumo elettrico attuale al termine di tale periodo è pari a:

$$(130 \text{ kW} \times 8 \text{ ore}) \times 264 \text{ giorni} = 274\,560 \text{ kWh} \quad (28)$$

Se si ipotizza, come già fatto nei capitoli precedenti, che l'energia consumata abbia un costo pari a 0.198 €/kWh e che il fattore di emissione sia pari a 0.49355 KgCO₂/kWh si avrà rispettivamente una spesa e quantità di gas serra prodotti pari a:

$$274\,560 \text{ kWh} \times 0.198 \text{ €/kWh} = 54\,362 \text{ €} \quad (29)$$

$$274\,560 \text{ kWh} \times 0.49355 \text{ KgCO}_2/\text{kWh} = 135\,509 \text{ KgCO}_2 \quad (30)$$

I moduli fotovoltaici selezionati in questo progetto presentano la particolarità di avere alti rendimenti anche a basse temperature, il loro nome è Dualsun Flash 300M e di seguito, in tabella 14, si riporta alcuni dati progettuali estrapolati direttamente dalla scheda tecnica del modello scelto.

Tabella 14: Caratteristiche tecniche dei pannelli Dualsun Flash 300M

Caratteristiche fisiche	
Lunghezza (mm)	1 650
Larghezza (mm)	991
Spessore (mm)	35
Numero di celle	60
Caratteristiche fotovoltaiche	
Potenza nominale (W)	300
Efficienza dei moduli (%)	18.3

Il sito presenta 4 edifici, 3 nel punto di arrivo e una alla partenza, su cui è possibile installare i pannelli fotovoltaici per una superficie totale di 418.79 m² (le planimetrie sono visibili nelle figure 35, 36, 37, 38).

PARTENZA IMPIANTO:

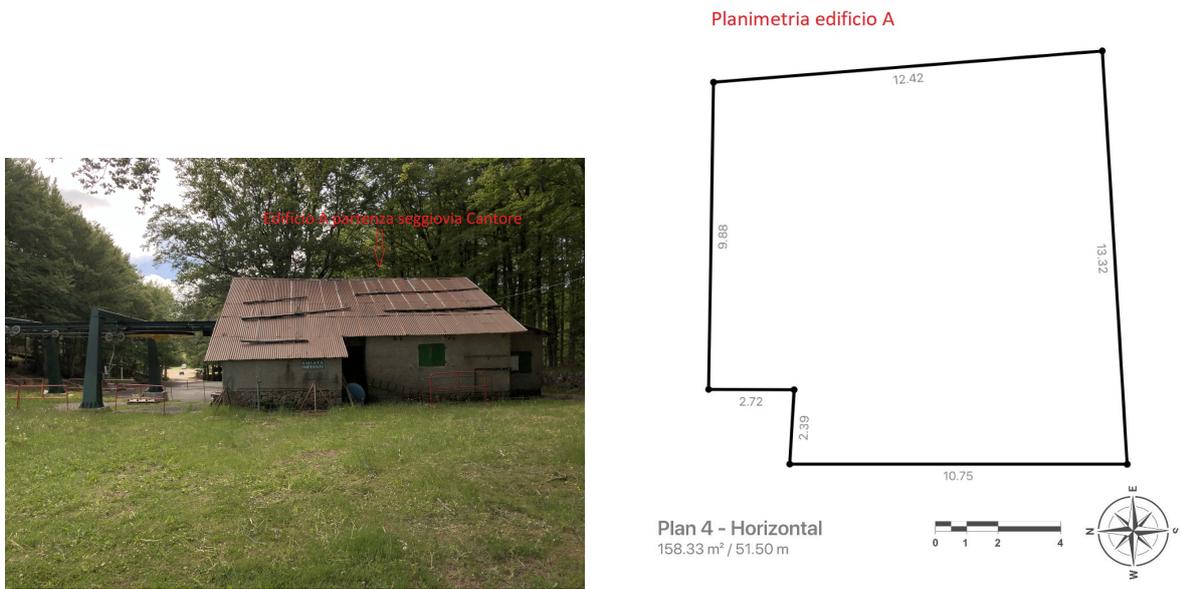


Figura 35: Foto e planimetria della struttura alla partenza dell'impianto

ARRIVO IMPIANTO:

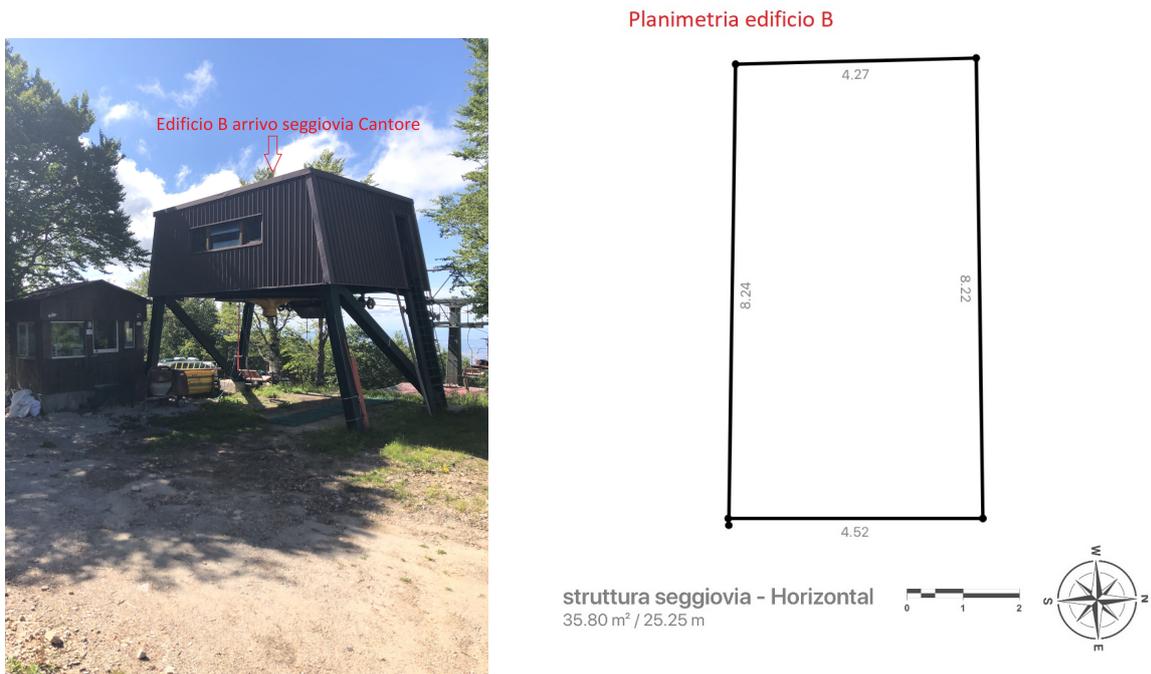


Figura 36: Foto e planimetria della struttura all'arrivo dell'impianto



Planimetria edificio C

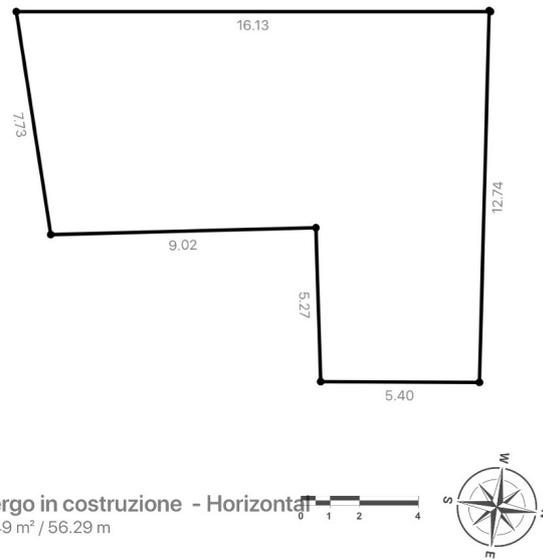


Figura 37: Foto e planimetria della struttura all'arrivo dell'impianto



Planimetria edificio D

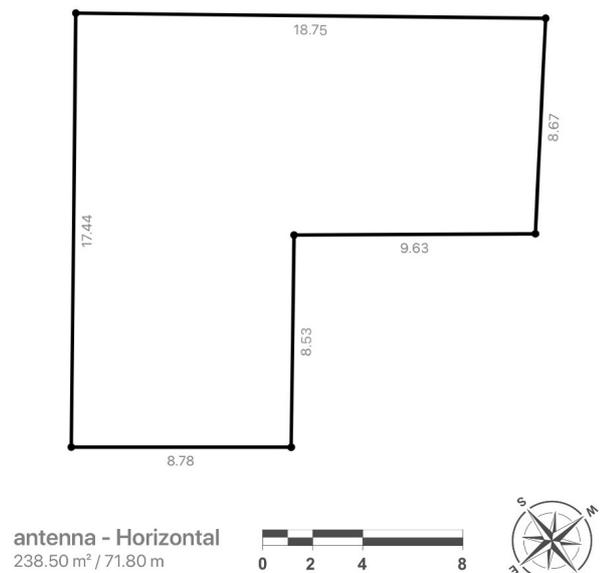


Figura 38: Foto e planimetria della struttura all'arrivo dell'impianto

Conoscendo la superficie a disposizione e sapendo che ogni pannello occupa 1.64 m², è possibile determinare il numero complessivo di moduli da utilizzare:

$$\frac{418.79 \text{ m}^2}{1.64 \text{ m}^2} = 255 \text{ moduli} \quad (31)$$

Ogni pannello ha una potenza nominale di 0.3 kW, di conseguenza la capacità dell'impianto sarà:

$$255 \text{ moduli} \times 0.3 \text{ kW} = 76.5 \text{ kW} \quad (32)$$

A questo punto avendo determinato le dimensioni dell'impianto è stato calcolata la produttività del sistema, sfruttando il software disponibile sul sito "Renewable.ninja".

Nel periodo che va dal 1 dicembre al 13 aprile e dal 25 maggio al 30 settembre (ovvero quando la seggiovia è in funzione), inserendo un'inclinazione della falda su cui verranno posizionati i pannelli pari a 35° con orientamento verso sud, è stato ottenuto un risultato di produzione energetica pari a 83 551 kWh, ovvero il 59 % del consumo annuale della seggiovia. Invece, nel restante tempo in cui non lavora, l'impianto riesce a produrre e quindi a vedere 28 027 kWh di energia.

In figura 39 si mostra l'andamento della produzione con cadenza oraria, dove sono evidenti sia le variazioni infragiornaliere sia quelle stagionali.

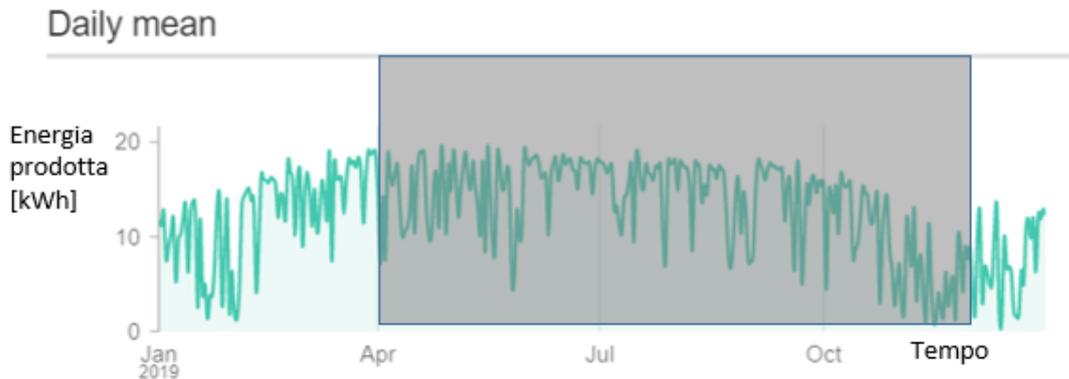


Figura 39: Andamento della produttività nel tempo dell'impianto fotovoltaico nei mesi invernali

Con tale investimento si avrebbe una riduzione sia in termini di anidride carbonica emessa, sia come risparmio dal punto di vista economico, in quanto tutto ciò che viene prodotto viene anche consumato dall'impianto stesso. Inoltre, nei 101 giorni in cui la seggiovia non è in funzione l'energia elettrica prodotta tramite i pannelli fotovoltaici viene venduta a 0.105 €/kWh (contributi FER1 disponibili dal 2018) e immessa quindi direttamente nella rete pubblica.

La riduzione di gas serra calcolata risulterà pari a:

$$83\,551\text{ kWh} \times 0.49355\text{ KgCO}_2/\text{kWh} = 41\,236\text{ KgCO}_2 \quad (33)$$

Considerando il prezzo dell'energia che non viene acquistata (0.198€/kWh) si ha un risparmio annuale di:

$$83\,551\text{ kWh} \times 0.198\text{ €/kWh} = 16\,543\text{ €} \quad (34)$$

Mentre se si considera quella venduta si avrà un guadagno annuale di:

$$28\,027\text{ kWh} \times 0.105\text{ €/kWh} = 2\,942\text{ €} \quad (35)$$

Ipotizzando quindi che l'intero investimento abbia un costo che si aggira intorno 1000 € al kWh di potenza installata, avremo che il costo complessivo è pari a:

$$76.5\text{ kWh} \times 1\,000\text{ €/kWh} = 76\,500\text{ €} \quad (36)$$

L'investimento può essere definito per mezzo di alcuni criteri finanziari quali:

- **Payback period (PBP):** è il tempo necessario affinché i flussi di cassa attualizzati cumulati eguagliano l'investimento iniziale. In questo modo si tiene conto del valore finanziario del tempo e del costo del capitale, l'attualizzazione dei flussi di cassa è il calcolo finanziario che consente di calcolare il valore equivalente alla loro generazione in data odierna. A

parità di valore, un flusso di cassa proiettato nel futuro vale meno di un flusso di cassa generato oggi. Tale operazione si effettua per mezzo di questa formula:

$$\sum_{t=1} F(t)(1+k)^{-t} - F(0) \quad (37)$$

Dove t indica l'anno del flusso di cassa che si intende attualizzare e k è il tasso di interesse. Maggiore è il *payback time*, meno interessante è l'investimento.

- **Valore attuale netto (VAN):** Il VAN è la somma algebrica di tutti i flussi di cassa attualizzati (positivi e negativi) generati dal progetto considerato. Rappresenta la ricchezza incrementale generata da un progetto, espressa come se fosse immediatamente disponibile e si calcola tramite:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{F(t)}{(1+k)^t} \quad (38)$$

- **Tasso interno di rendimento (TIR):** Il tasso interno di rendimento è quel particolare tasso di attualizzazione che rende identici i valori dei flussi positivi e negativi di un progetto (quello che rende il VAN uguale a zero). Il TIR rappresenta il costo massimo della raccolta che un progetto può sopportare, affinché permanga la sua convenienza economica, nonché il rendimento lordo di un progetto (lordo poiché non si considera il costo delle risorse utilizzate.)

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{F(t)}{(1+k)^t} \quad (39)$$

Se si ipotizzano 20 anni di vita dell'impianto e un tasso di attualizzazione del 5% (che tiene conto degli interessi bancari per il prestito necessario), nel caso studio del monte Amiata avremo che:

- **PBP:** 4 anni
- **VAN:** 166 326 €
- **TIR:** 25%

In figura 40 si riportata l'andamento dei flussi di cassa nel tempo.

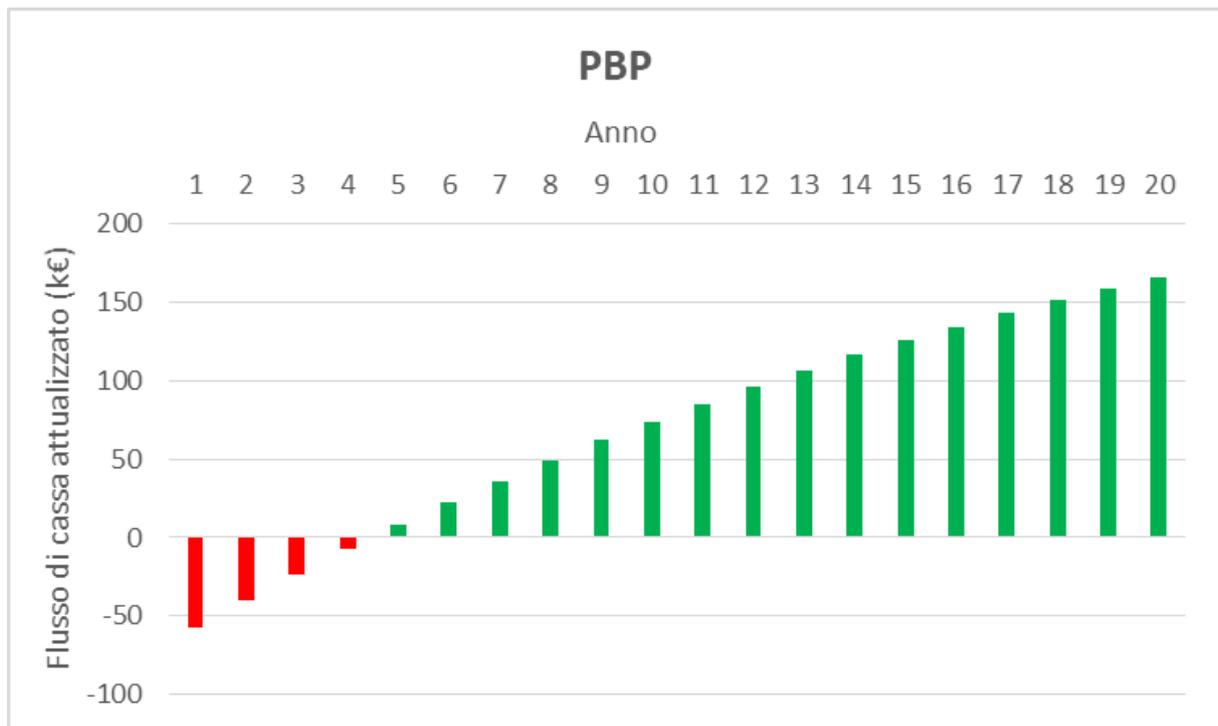


Figura 40: Grafico dei flussi di cassa attualizzati che permettono l'individuazione del Payback period dell'investimento

4.1.3 Impianti idroelettrici su condotta

Un'ulteriore soluzione interessante per ridurre la Carbon Footprint di una stazione sciistica, è quella di utilizzare l'acqua accumulata nell'invaso in quota, solitamente utilizzata per generare neve, per produrre, tramite una turbina, elettricità.

In questo un esempio è il Trentino ed in particolare la centrale idroelettrica di Santa Massenza (figura 41) che sfrutta l'acqua dell'invaso del Sarca per la produrre "energia verde".



Figura 41: Sistema di turbine all'interno della centrale di Santa Massenza.

Con 640 GWh di producibilità media annua è sicuramente la centrale con più potenza in tutto il Trentino.

Il principio di funzionamento dell'impianto è estremamente semplice, le piogge, ma soprattutto i ghiacciai del Gruppo Adamello-Brenta, alimentano i numerosi fiumi montani che si immettono nel fiume Sarca, il principale immissario del lago di Garda. 16 opere di presa convogliano le acque di questi torrenti che vengono trasportate in un vaso utilizzato per l'accumulo situato in Val di Genova (895 m di altitudine), vicino a Pinzolo. Da qui parte una galleria che muove l'acqua al lago di Molveno (823 m di altitudine). Le acque che non vengono derivate dal medio Sarca verso monte, nel lago di Molveno, sono sollevate in un vaso artificiale situato a Ponte Pià, vicino a Tione.

Partendo dal lago di Molveno e dal bacino di Ponte Pià, si diramano oltre quindici chilometri di tunnel che spostano l'acqua in 2 condotte forzate d'acciaio. Quella più piccola che riceve da Ponte Pià, fa un salto verticale di 220 m, quella che invece riceve da Molveno, addirittura di 580 m.

Una volta che l'acqua ha raggiunto la centrale di Santa Massenza, tramite degli ugelli, è possibile aumentare la sua velocità fino a 360 km/h, in seguito 16 enormi turbine mutano la forza cinetica che questa possiede, in energia meccanica di rotazione. E' poi dovere dell'alternatore convertire l'energia meccanica in energia elettrica, di cui in seguito, per mezzo di un trasformatore, se ne aumenta tensione prima di immetterla nella rete elettrica nazionale.

Le varie strutture idrauliche presenti non consentono di immagazzinare grandi quantità di energia nei momenti in cui si ha un scarsa domanda di elettricità. Per esempio di notte, il flusso d'acqua che giunge alla centrale può essere bloccato e di conseguenza la produzione di energia elettrica diminuita o cessata del tutto. In queste circostanze l'acqua viene captata dal lago di Santa Massenza e spinta al lago di Molveno per mezzo di una condotta forzata gemella. Ciò permette di ricreare a monte una riserva di acqua pronta per essere sfruttata nel momento in cui la domanda di energia si fa più elevata. (Wikipedia, 2020)

Per avere più chiara la potenza e l'importanza di Santa Massenza per il Trentino si ricapitola in maniera schematica quali sono i numeri di quest'opera:

- Producibilità media annua: 640 GWh
- Turbine: 15 Pelton (ad asse orizzontale) + 1 Francis (ad asse verticale)

- Derivazione principale, Lago di Molveno:

- Salto utile: 580 m
- Portata: 70 m^3/s

- Derivazione secondaria, Bacino artificiale di Ponte Pià:

- Salto utile: 220 m
- Portata: 16 m^3/s

Questa struttura, insieme alle altre gestite dal gruppo Dolomiti Energia (circa una ventina), rende possibile un sostentamento dei servizi legati allo sci in Trentino molto più eco-friendly. Quindi, utilizzando l'acqua come fonte di energia, quando si va a parlare del comprensorio sciistico del Dolomiti-Superski, si ha una forte diminuzione della quantità di anidride carbonica prodotta da un atleta durante una giornata di sci

4.2 Efficientamento energetico degli impianti di risalita

Alimentare l'impianti di risalita attraverso moduli fotovoltaici non è l'unica soluzione per ridurre l'impatto ambientale legato ai consumi del motore. Un'alternativa può essere quella di modulare la velocità dell'impianto in funzione delle effettive esigenze di carico.

Essendo la velocità di sincronismo del motore direttamente proporzionale alla frequenza della corrente di alimentazione, è necessario variare quest'ultima se si vuole modificare la velocità di rotazione del motore; è chiaro che diminuendo la velocità di un motore elettrico e della macchina ad esso collegata, si ha una riduzione dei consumi elettrici.

Però, se da un lato il consumo è sicuramente minore, dall'altro l'esercizio dell'impianto a regime ridotto può essere controproducente, in quanto tutti i componenti lavorano secondo parametri diversi da quelli nominali per cui sono stati dimensionati.

A quanto pare, quindi, l'esercente che vuole risparmiare sulla bolletta e fa funzionare l'impianto per anni, all'80% della velocità nominale, potrebbe trovarsi a dover sostituire qualche pezzo, prima del previsto, a causa di un'usura anomala dovuta alle condizioni di esercizio non ottimali. Un'ulteriore soluzione per l'efficientamento energetico degli impianti di risalita è chiamata "azionamento diretto Leitner". L'innovazione prodotta appunto dalla Leitner, permette ai più moderni impianti di risalita di ridurre i consumi, i costi di funzionamento e di conseguenza anche emissioni di CO₂.

L'azionamento diretto Leitner è un sistema di azionamento per impianti di risalita che si distingue dagli altri perchè lavora senza alcun meccanismo di trasmissione (riduttore). Questa innovazione prevede un sistema composto solamente da 3 elementi: un rotore e due cuscinetti, tale semplicità di funzionamento evita le perdite di efficienza dei tradizionali meccanismi di trasmissione che possono raggiungere anche il 5%.

Il risultato quindi è un risparmio dei costi sul fronte energetico e una maggiore attenzione nei confronti dell'ambiente dal momento che riducendo i consumi si riduce anche la CO₂ emessa. L'economicità e il ridotto impatto ambientale dell'azionamento diretto sono confermati anche dalla seggiovia a 8 posti Ochsalm, situata nel comprensorio di Kitzbühel, nella scorsa stagione invernale l'innovativa tecnologia ha reso possibile una riduzione del 5% dei consumi energetici. L'impianto, lavorando 1.027 ore nell'arco dell'intera stagione, ha registrato un risparmio complessivo pari a 41.080 kWh. Considerando 19 centesimi/per chilowattora si ha un importo di 7 805 euro e 20 275 KgCO₂ risparmiati. Poiché si prevede che tale impianto resterà in uso per 15 anni, i gestori risparmieranno oltre 61.000 euro ed eviteranno di emettere 304 125 KgCO₂.(funivie.org, 2020)

La tutela ambientale è inoltre rafforzata dal funzionamento dell'azionamento diretto che non richiedendo l'uso di olio, non ne prevede nemmeno lo smaltimento, al contrario di ciò che succede con i sistemi di azionamento standard dotati di trasmissione.

4.3 Efficientamento energetico degli impianti di pompaggio

Come già è stato spiegato nel capitolo 2.1, l'innervamento artificiale è composto da diverse fasi. La fase più dispendiosa dal punto di vista energetico è sicuramente il pompaggio dell'acqua dall'invaso ai cannoni (circa il 60% del totale). Quindi, se si vuole ridurre l'impatto ambientale di tale servizio, è importante ottimizzare proprio questa fase del processo.

Una soluzione può essere quella di usare pompe a giri variabili, in cui, modificando la frequenza di alimentazione [Hz] del motore, la velocità di rotazione varia in proporzione. In funzione del numero di giri avremmo quindi diverse curve caratteristiche Q/H della pompa che incontrano la curva caratteristica del circuito idraulico in più punti, chiamati punti di funzionamento.

In questo modo si riesce a ottimizzare il processo in funzione della portata da fornire e della prevalenza che si deve superare, variando il numero di giri della macchina in maniera tale che il rendimento sia il maggiore possibile e quindi anche i consumi siano inferiori.

Utilizzando pompe a giri fissi, invece, per ridurre la portata è necessario incrementare le perdite

di carico, generalmente chiudendo una saracinesca. Ciò comporta un incremento dei consumi energetici rispetto alla riduzione dei giri della pompa. Per ovviare a questo problema, un'alternativa potrebbe essere l'utilizzo di più pompe a giri fissi in parallelo, azionandone di volta in volta il numero necessario per fornire la portata richiesta. Tuttavia, ciò comporta una maggiore complessità dell'impianto.

Sulla base di quanto appena detto, nel capitolo 4.3.1, si propone un caso studio in cui si confronta le due differenti configurazioni descritte sopra per valorizzare, sia dal punto di vista del risparmio economico, sia da quello della tutela ambientale, l'importanza di utilizzare un sistema di pompaggio a giri variabili.

4.3.1 Esempio applicativo su un impianto di innevamento programmato

Come già precedentemente spiegato, si è deciso di confrontare due tipologie differenti di pompe e quindi due diverse configurazioni che consentono di trasferire l'acqua utilizzata per l'innervamento artificiale direttamente dall'invaso di accumulo ai cannoni spara neve.

E' stato ipotizzato un intervento su una breve pista, utilizzata per gare di slalom speciale e gigante, dove sono presenti 5 pozzetti per alimentare altrettante ventole.

La prima configurazione che si analizzerà sarà dotata di un inverter e di un sistema di avviamento chiamato softstarter che permette di regolare il numero dei giri della pompa in funzione della portata e della prevalenza di cui si necessita in quel momento.

Il secondo sistema invece è costituito da una pompa a giri fissi, con la quale, nel caso sia richiesta una portata inferiore a quella nominale, sarà necessario variare la curva caratteristica del sistema, operando un restringimento (generalmente la chiusura di una valvola a saracinesca).

Il contesto di installazione è stato analizzato su GIS per ricavare il dislivello da superare dalla stazione di pompaggio (1 370 m s.l.m.) al pozzetto situato più in alto (1 581 m s.l.m.). Il pozzetto più in basso, posto a 1 432 m s.l.m., sarà anche quello sottoposto alla maggiore pressione d'esercizio.

Alla prevalenza data dal dislivello geodetico, però, va sommato il contributo che si ha dalle perdite distribuite lungo la tubazione (si suppone che le perdite localizzate siano trascurabili), di lunghezza pari a 1 186.47 m. Per calcolarle si è usato la seguente formula:

$$H = L \times 0.000649 \times \left(1 + \frac{2m}{\sqrt{d}}\right)^2 \times \left(\frac{Q^2}{d^5}\right) \quad (40)$$

Dove d , indica il diametro interno della tubazione (nel caso in esame DN150), L la lunghezza della stessa tubazione e $2m$ un coefficiente che tiene conto dell'utilizzo della condotta ($2m = 0.35$ per tubi nuovi).

Come riportato in figura 42, un cannone da neve lavora a portate molto differenti a seconda della temperatura di bulbo umido presente e della qualità della neve impostata sulla macchina (più alta la qualità, minore la portata idrica che la macchina è in grado di trattare per trasformarla in neve).

Si osserva che le portate variano tra 1.5 e 4 l/s circa.

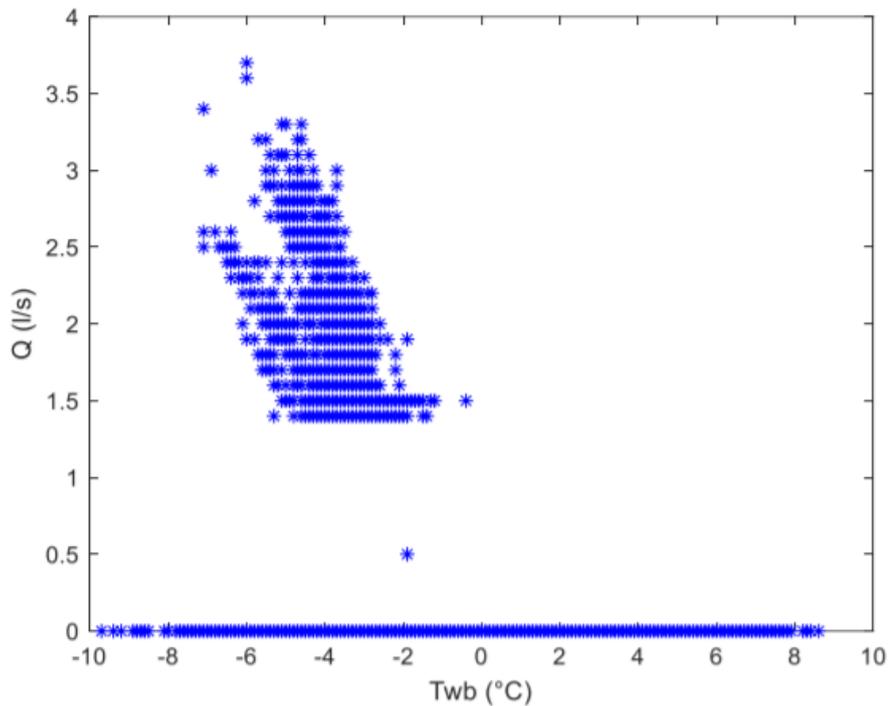


Figura 42: Variazione della portata in un cannone da neve al variare della temperatura di bulbo umido.

Essendo presenti 5 cannoni, la portata nominale sarà quindi di 20 l/s, alla quale si ottiene una perdita di carico distribuita di 14,70 m (calcolata tramite l'equazione 40), che rappresenta la massima perdita di carico possibile.

L'ultimo apporto da dover considerare nella progettazione dell'impianto di sollevamento è quello relativo alla pressione minima che ogni cannone deve avere per poter funzionare. Essendo necessari un minimo di 20 bar affinché ogni macchina possa iniziare l'innevamento si aggiungerà alla prevalenza data dal dislivello geodetico e dalle perdite di carico distribuite, altri 200 metri, in quanto ogni bar di pressione che necessita il cannone corrisponde a 10 metri di prevalenza in più.

Quindi ricapitolando i dati di progetto sono:

- Quota valle 1.370 m s.l.m.
- Quota monte 1.581 m s.l.m.
- Lunghezza condotta 1.186.47 m
- Diametro nominale della condotta 150 mm
- Porta minima attesa 1.5 l/s
- Portata massima attesa 20 l/s
- Pressione all'ultimo idrante 20 bar
- Dislivello geodetico 211 m
- Massima perdita di carico distribuita 14.70 m
- Prevalenza dovuta alla pressione minima di ciascun cannone 200 m
- Massima prevalenza del sistema $200+211+14.70= 425.70$ m

Una volta in possesso di tutti i dati è necessario creare la curva caratteristica del sistema (prevalenza del sistema in funzione della portata), che permette all'ingegnere di poter selezionare la pompa adeguata alle esigenze dell'impianto. Nel grafico 43 si può osservare proprio tale curva ottenuta facendo variare la portata nei range stabiliti ($1.5 \text{ l/s} < Q < 20 \text{ l/s}$) e sommando ai due apporti fissi (prevalenza geodetica e prevalenza data dalla pressione all'ultimo idrante), le perdite di carico distribuite calcolate in funzione dell'acqua spinta dalle pompe.

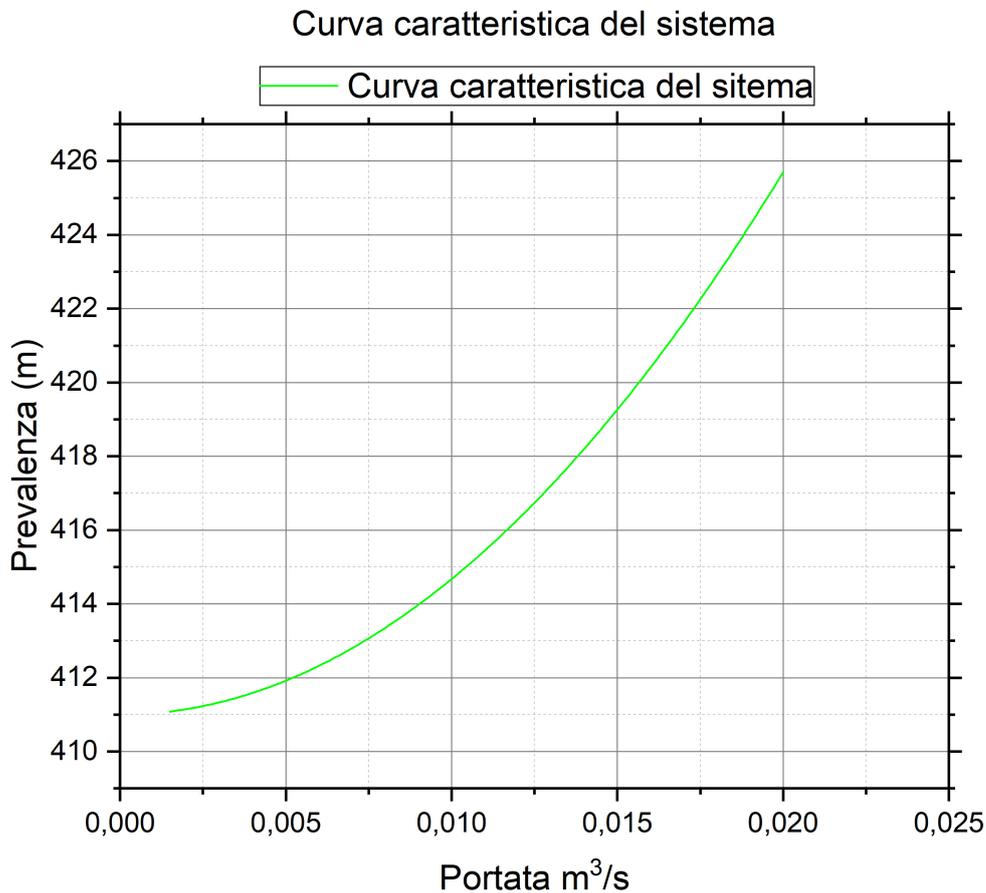


Figura 43: Curva caratteristica del sistema ottenuta calcolando la prevalenza al variare della portata all'interno dei range stabiliti.

Visti i range di portata e di prevalenza è stata scelta una pompa centrifuga multistadio Caprari PM(S) 65 con 10 stadi, di cui si riporta la scheda tecnica (figura 44).

Campo di utilizzazione - Utilization field - Champ d'utilisation: $\geq 60\%$

Numero stadi: min. 2, max. 14 (PM/PMS), compatibilmente con la pressione massima di esercizio.
Stage number: min. 2, max. 14 (PM/PMS), compatibly with the maximum pressure.
Nombre d'étages: min. 2, max. 14 (PM/PMS), compatible avec la pression maximum.

NB. Solamente per le pompe a due stadi, ridurre di un punto il rendimento.
For two-stage pumps only, reduce efficiency by one point.
Diminuer le rendement d'un point seulement pour les pompes à deux étages.

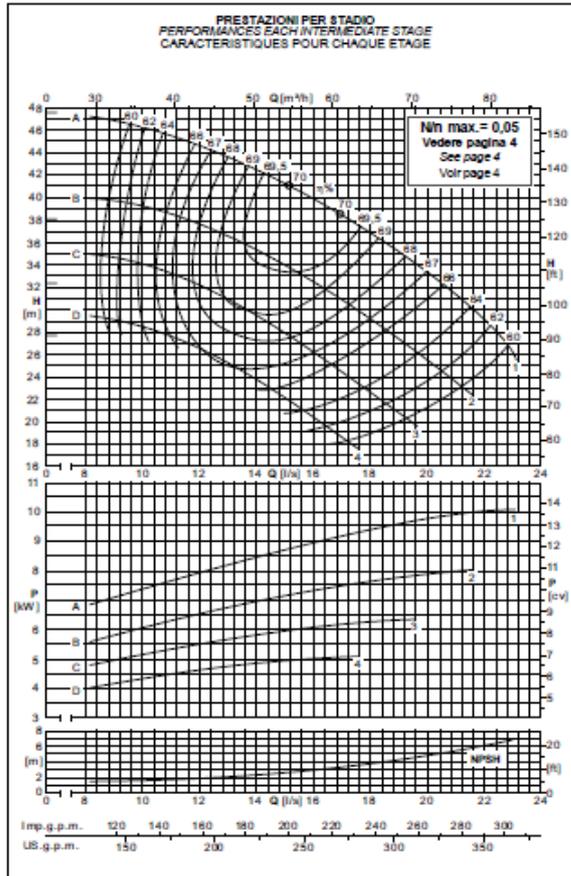
Pressione massima di esercizio
Max. working pressure
Pression de fonctionnement max.

Tipo tenuta Seal type Type garniture	Tipo pompa Pump type Type pompe	PNa [bar]	PNm [bar]
Meccanica Mechanical	PM...T PMS...T	25 25	40 64
Baderna Packing Etoupe	PM... PMS...	25 8(*)	40 64

(*) Per pressioni superiori, interpellare i nostri uffici commerciali
(* For higher pressure, please contact our sales organisation
(* Pour pressions supérieures, contacter nos services commerciaux

Momento d'inerzia J bagnato
Wet moment of inertia J
Moment d'inertie J mouillé
J=NFD⁴ - [kg m⁴]

Girante Impeller Roue	PM(S)65/2	Per ogni stadio in più For each additional stage Pour chaque étage en plus
Ghisa Cast Iron Fonte	0,0237	0,0107
Bronzo Bronze Bronze	0,0263	0,0120



PRESTAZIONI PER STADIO
PERFORMANCES EACH INTERMEDIATE STAGE
CARACTERISTIQUES POUR CHAQUE ETAGE

DNa x DNm Ormeo tipo Roues type	PORTATA - CAPACITY - DEBIT																						
	qs	0	9	10	11	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	19	20	21	22	23
m ³ /h	0	32,4	36	39,6	43,2	45	46,8	48,6	50,4	52,2	54	55,8	57,6	59,4	61,2	63	64,8	66,4	72	75,6	79,2	82,8	
lit/min	0	540	600	660	720	750	790	810	840	870	900	930	960	990	1020	1050	1080	1140	1200	1260	1320	1380	

PM(S) 65/1

80 x 65		D	PORTATA - CAPACITY - DEBIT																						
			qs	0	9	10	11	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	19	20	21	22	23
m	kW	27,8	29,2	33,5	37,8	38,5	41,2	41,8	43,5	44,2	45,8	46,5	48,2	48,8	50,5	51,2	52,8	53,5	55,2	55,8	57,5	58,2	59,8	60,5	62,2
		2,94	3,10	3,59	4,51	4,56	4,72	4,78	4,93	4,99	5,07	5	5,1	5,1	5,2	5,2	5,3	5,3	5,4	5,4	5,5	5,5	5,6	5,6	5,7
m	kW	32,3	34,8	34,1	33,4	32,2	31,7	31,3	30,3	29,6	28,8	27,9	27,1	26,2	25,3	24,5	23,6	22,7	21,8	20,9	19,9	19,1	18,2	17,3	16,4
		3,5	4,59	5,2	5,4	5,6	5,6	5,7	5,8	5,9	5,9	6	6,1	6,1	6,2	6,2	6,2	6,2	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
m	kW	38,1	39,8	39,4	38,6	37,8	37,2	36,7	36,1	35,4	34,7	34	33,2	32,5	31,8	30,8	29,9	29,1	27,4	26,5	25,5	24,6	23,6	22,6	21,6
		4,13	5,8	5,1	5,3	5,6	5,7	5,8	5,9	7	7,1	7,2	7,3	7,4	7,4	7,5	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
m	kW	47,6	47	46,3	45,6	44,8	44,2	43,7	43,2	42,6	42	41,3	40,6	39,9	39,2	38,5	37,7	36,8	35,2	33,4	31,5	29,2	26	23	20
		4,98	7,1	7,4	7,7	7,9	8,1	8,2	8,3	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9	9	9,2	9,3	9,4	9,6	9,8	9,9	10	10,1		
NPSH m			1,6	1,7	1,8	2	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4,3	4,8	5,4	6	6,8		

Figura 44: Scheda tecnica dell'elettropompa PM(S) 65 (Caprari, 2020)

Nella configurazione con inverter si passerà dall'assetto in cui la pompa opera a 2900 giri/minuto fornendo 0.014 m³/s per una prevalenza di 422 metri (punto A in figura 45), a lavorare a 2750 giri/minuto in maniera tale che i cannoni ricevano 0.09 m³/s di acqua con una prevalenza di 417 metri (punto C in figura 45). Nel secondo caso invece, essendo impossibile variare il numero dei giri della pompa, per ridurre la portata, sarà necessario applicare una strozzatura nella condotta, così da aumentare la pendenza della curva caratteristica del sistema (linea in verde tratteggiata nel grafico 45) fino a raggiungere il punto di funzionamento per la portata richiesta di 0.09 m³/s (punto B).

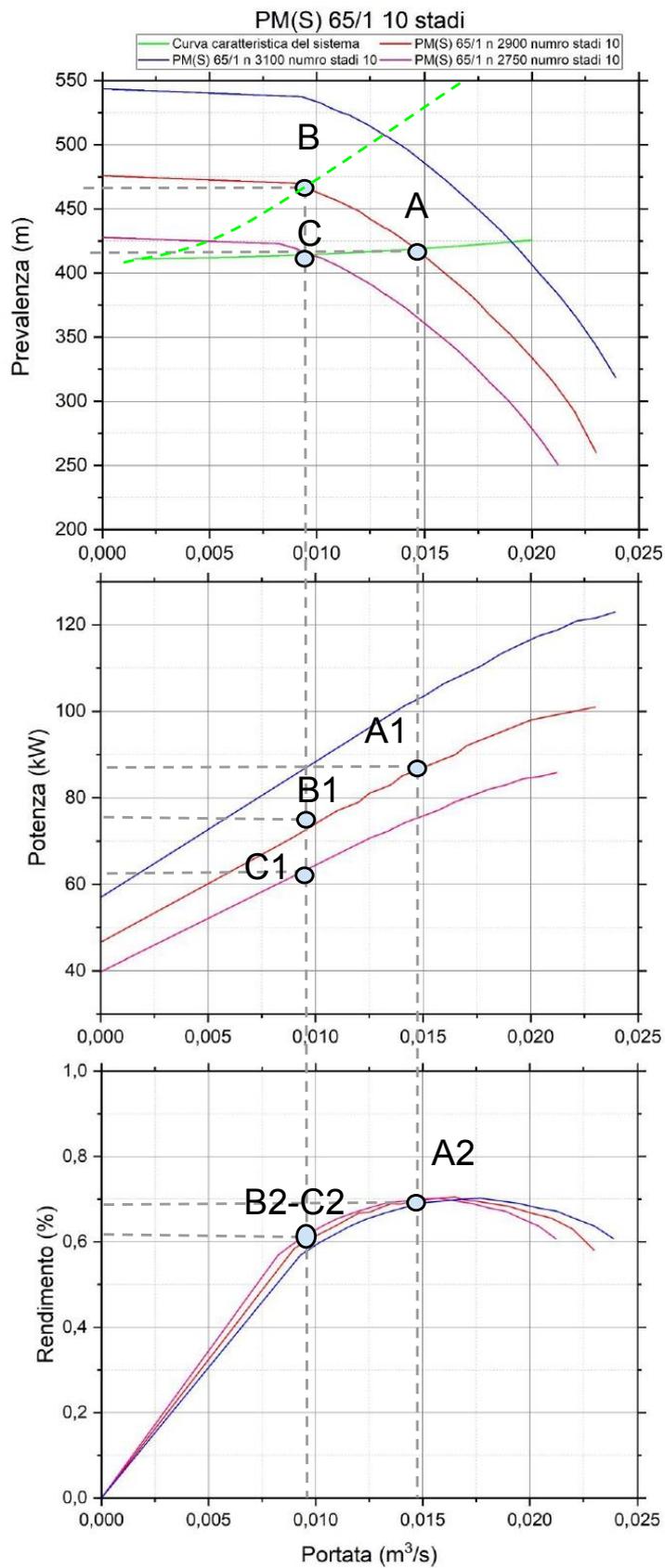


Figura 45: Prevalenza, potenza e rendimento dell'intero sistema in funzione della portata.

Sempre dal grafico 45, nella sezione delle potenze in funzione della portata, è facile osservare come ridurre il numero di giri della pompa porti a una riduzione dell'energia consumata maggiore rispetto ad accrescere le perdite di carico del sistema per diminuire la portata.

Si avrà quindi nel punto C1 un consumo di circa 63 kW (assetto con inverter), contro i 72 kW nella configurazione in cui è impossibile modificare il numero di giri, punto B1. Se si considera che ogni campagna di innevamento dura circa 60 ore, utilizzando un inverter, si avrà un risparmio sia in termini di energia non consumata, di denaro non speso e di CO₂ non emessa in atmosfera.

-Risparmio energetico su una campagna di innevamento

$$9 \text{ kW} \times 60 \text{ h} = 540 \text{ kWh} \quad (41)$$

Ovvero si riduce il consumo del sistema del 12.5%

-Risparmio economico

$$540 \text{ kWh} \times 0.198 \text{ €/kWh} = 107 \text{ €} \quad (42)$$

-Emissioni evitate

$$540 \text{ kWh} \times 0.49355 \text{ KgCO}_2/\text{kWh} = 266,5 \text{ KgCO}_2 \quad (43)$$

Ciò significa quindi che se si è in grado di modulare i giri delle pompe che si occupano di rifornire di acqua i cannoni si ha una riduzione di 266.5 KgCO₂ per ogni campagna di innevamento in una singola pista, in questo modo di conseguenza si riduce ancora di più l'apporto CO₂ prodotta per singolo sciatore.

4.4 Efficientamento della battitura delle piste

Le soluzioni che possono portare a una diminuzione dell'inquinamento dovuto alla battitura delle piste sono essenzialmente due:

1. L'impiego di sistemi GPS che permettono di ottimizzare e velocizzare il lavoro dei battisti.
2. L'utilizzo di mezzi battipista ibridi così da ridurre il consumo di carburante.

4.4.1 Sistemi geomatici

Per quanto riguarda la tecnologia GPS, uno dei primi casi di applicazione è stato in Austria nella stagione 2017/2018 a SkiWelt Wilder Kaiser (Christian Kapzinger, 2018). L'obiettivo è avere in pista uno strato di neve compatto e uniforme per evitare la presenza di un innevamento eccessivo o insufficiente. In fase di preparazione piste, consente di rilevare in ogni istante l'altezza effettiva della neve in ogni punto del terreno. Ciò permette un notevole risparmio di neve artificiale e quindi di risorse. Infatti, l'infrastruttura GPS, integrata nei gatti delle nevi, è in grado di misurare in tempo reale la superficie di pista e l'altezza della neve in ogni punto (con scostamenti di appena 3-5 cm).

La premessa fondamentale è la mappatura e misurazione preliminare degli appezzamenti, con la massima precisione, già in estate, a tavolino, con sistemi GPS. Durante la battitura, poi, in base alle differenze e alle caratteristiche del terreno innevato, il dispositivo di misurazione è in grado di stabilire l'altezza della neve in ogni punto. Così l'operatore del battipista può visualizzare direttamente e immediatamente sul display lo spessore di innevamento che si trova sotto il mezzo.

I dati rilevati si possono rappresentare anche graficamente e stampare come una cartina geografica, con le indicazioni relative alle varie altezze della neve, consentendo così di individuare subito le superfici con un livello di innevamento inferiore. In questo modo si può intervenire opportunamente con pala e fresa, spostando neve dove manca e prendendola da dove invece ce n'è di più.

Due dei più grandi produttori hanno stipulato una partnership strategica per migliorare l'impatto ambientale dei comprensori sciistici. Leica Geosystems è conosciuta in tutto il mondo per essere pioniera nella produzione e nello sviluppo di tecnologie di prima qualità per l'elaborazione e il rilevamento di dati territoriali. Con Prinoth, produttore leader nel mondo di mezzi battipista, l'azienda ha deciso di dettare nuovi standard nella gestione delle neve. Una tecnologia chiamata "iCON alpine" appositamente sviluppata con un nuovo software, contribuisce ad aumentare l'efficienza nella preparazione delle piste e quindi a ridurre sensibilmente sia i costi energetici sia le emissioni dei carburanti.

Il sistema si basa sull'utilizzo di satelliti che permettono uno scambio semplice di tutti i dati sull'altezza della neve, nonché sull'attuale stato di lavorazione delle piste da sci tra i conducenti dei gatti delle nevi. I dati poi vengono trasmessi a ogni software GIS di gestione della neve tramite server web. Tutti i veicoli Prinoth (figura 46) sono già dotati in fabbrica del Ready-Kit di Leica Geosystems, tuttavia la configurazione del sistema e la messa in funzione finale avvengono in loco, presso il cliente.(Prinoth, 2020)



Figura 46: Prinoth Magazine IT, uno dei primi battipista dotati del sistema Leica Geosystems.

4.4.2 Mezzi battipista elettrici

Anche la soluzione di un battipista ibrido permette di avere notevoli guadagni dal punto di vista ambientale. Nel 2014 l'azienda tedesca PistenBully ha presentato il modello 600 E+ (figura 47). Un gatto delle nevi caratterizzato dall'interazione tra un comune motore Diesel a 6 cilindri di 12,8 litri e 400 CV di fabbricazione Mercedes e due propulsori elettrici, così da contenere del 20% le emissioni di anidride carbonica e gli ossidi d'azoto. Una soluzione che, a un'erogazione di coppia particolarmente corposa ai bassi regimi, tipica della propulsione a batteria, abbina una riduzione del 99% della produzione di particolato e un abbattimento della rumorosità. Quest'ultimo aspetto è tutt'altro che secondario, in quanto contribuisce a un minore disturbo della fauna. I consumi passano da una media di circa 20-25 litri di gasolio all'ora a 16 litri, complice il recupero dell'energia in discesa, così da disporre di una costante riserva di spinta "pulita".



Figura 47: Pistenbully-600 E+, uno tra i primi e più efficienti battipista ibridi realizzati ad oggi

5 Conclusioni

Il lavoro di tesi, dopo aver introdotto le problematiche legate al riscaldamento globale ed aver mostrato l'importanza di ridurre l'impatto ambientale di ogni attività umana, ha illustrato come mitigare le emissioni di anidride carbonica nel settore dello sci, che rappresenta una importante risorsa turistica ed economica per gli ambienti montani.

Per trovare soluzioni valide che possano ridurre l'impronta di CO₂ di una stazione sciistica è necessario cercare prima di caratterizzarla.

Senza dubbio le tre fonti principali che producono maggiormente anidride carbonica sono: gli impianti di risalita, l'innevamento programmato e la battitura delle piste.

Sono stati analizzati e confrontati dati di un centinaio di impianti di risalita prodotti dalla società Leitner ed è emersa una certa proporzionalità tra le emissioni di CO₂, la lunghezza ed il dislivello dell'impianto. Maggiore è la distanza e la quota da superare, più potente dovrà essere il motore installato e di conseguenza maggiori saranno i quantitativi di anidride carbonica prodotta.

Per quanto riguarda l'innevamento programmato esso è ormai diventato un'esigenza per quasi tutte le stazioni sciistiche, soprattutto ad inizio stagione, per creare un fondo compatto e resistente che faccia da base in attesa delle neviccate.

Le macchine convenzionali per la produzione di neve operano a temperature di bulbo umido uguali o inferiori a -2°C. Le ore nelle quali tali condizioni si verificano, dette potential snowmaking hours, si concentrano perlopiù a metà stagione (mesi di gennaio e febbraio). Tale condizione contrasta con l'esigenza di azionare l'innevamento programmato soprattutto a inizio stagione e costringe quindi a dimensionare questi impianti in modo da fornire tutta la neve artificiale necessaria in un arco temporale ridotto (generalmente 48 ore). La terza attività necessaria per il buon utilizzo delle piste da sci, è la loro battitura. Il tempo occorrente alla preparazione, e di conseguenza dell'utilizzo del mezzo battipista, dipende principalmente dalla conformazione del tracciato, dalla bravura dell'operatore e dalla quantità di neve presente al suolo.

Delineate le caratteristiche delle attività maggiormente responsabili della produzione di anidride carbonica, è stato elaborato un procedimento per quantificare l'impronta di CO₂, da queste prodotte. In particolare è stato sviluppato un metodo per calcolare il quantitativo di anidride carbonica emessa per ogni kWh elettrico, sulla base dei dati orari disponibili pubblicamente per ogni paese d'Europa.

Analizzando poi i bilanci di esercizio di 5 comprensori di differenti dimensioni, sono state ricavate delle "rule of thumb" che ci permettono di valutare i consumi e l'impatto ambientale di ogni stazione sciistica.

E' emerso che per battere un chilometro di pista, una stazione consuma dai 2 000 ai 5 000 litri di gasolio ogni stagione e che utilizza da 0.369 a 1.30 MWh per ogni metro di dislivello che gli impianti di risalita superano.

Attraverso questi dati è stato stimato il quantitativo di CO₂ emesso per sciatore ed è risultato che si passa da un massimo di 11.62 KgCO₂/sciatore a un minimo di 3.61 KgCO₂/sciatore. La variabilità di questi valori dipende da numerosi fattori, quali la frequentazione maggiore o minore del comprensorio e il numero di giorni di apertura. Sulla base delle analisi svolte, si nota come gli impianti di risalita diano un contributo nettamente preponderante all'impronta di CO₂ di una stazione sciistica. L'innevamento programmato, che ha sicuramente un impatto ambientale minore rispetto all'attività precedente, ha come fase critica quella che prevede il pompaggio di acqua dal bacino di accumulo fino ai cannoni. In mezzo tra le due attività vi è la battitura delle piste che è quindi meno impattante degli impianti di risalita, ma generalmente produce più emissioni dell'innevamento programmato.

Come misure per ridurre l'impronta di CO₂ sono state elaborate le seguenti soluzioni.

1. **Produzione di energia da fonte rinnovabile:** gli impianti fotovoltaici hanno una produzione che ben si adatta ai profili di consumo di un impianto di risalita. A titolo

d'esempio è stato ipotizzato l'utilizzo di energia solare per alimentare una seggiovia del Monte Amiata, ciò ha permesso un risparmio di 16 543 € e 41 236 KgCO₂ ogni stagione che tradotto significa una riduzione del 30% delle emissioni di gas serra. Il tempo di ritorno dell'investimento è stato calcolato intorno ai 4 anni.

2. **Istallazione di sistemi di pompaggio a giri variabili:** in un impianto di innevamento programmato, in cui la portata di funzionamento può variare a seconda del suo utilizzo, è fondamentale strutturare un sistema di pompaggio che sia flessibile ai diversi range di portata, installando delle pompe a giri variabili. Nella tesi si è riportato un esempio in cui, per ridurre la portata al 64% di quella nominale (da 14 l/s a 9 l/s), una pompa a giri variabili permette di risparmiare il 12,5% di potenza assorbita.
3. **Modernizzazione dei mezzi battipista:** tramite l'utilizzo di tecnologie satellitari e di mezzi battipista ibridi, si ha una forte riduzione delle emissioni di gas serra.

Una volta valutato l'impatto ambientale prodotto dalle stazioni sciistiche, appare chiaro che le emissioni associate sono dell'ordine di alcuni kg CO_{2eq} per sciatore. Tali emissioni sono paragonabili alla percorrenza di poche decine di km in auto.

Dalla valutazione di questi dati emerge come l'attività sciistica non è in realtà particolarmente impattante, se rapportata ai trasporti, che rappresentano la componente più critica delle attività turistiche in genere.

L'attività sciistica è caratterizzata, soprattutto per i grandi comprensori, da un'utenza che percorre lunghi chilometraggi e spesso con mezzi poco sostenibili (auto con bassa occupazione del mezzo o aereo). Sebbene, come evidenziato in questa tesi, siano presenti alcuni margini di miglioramento sulle attività delle stazioni sciistiche, la loro sostenibilità dipenderà quindi dai mezzi di trasporto scelti dagli sciatori e, in alcuni casi, organizzati dalle stazioni sciistiche stesse o dai tour operator.

In questo senso sicuramente l'attuale pandemia complica l'implementazione di trasporti collettivi verso i comprensori sciistici e porterà, almeno per qualche anno, ad un maggiore utilizzo dei mezzi privati.

A Intervista a Stefano Papi

22/04/2020

Intervista a Stefano Papi presidente della società gestore della stazione sciistica del Monte Amiata, un gruppo montuoso di origine vulcanica, situato nell'Antiappennino toscano, compreso tra le province di Grosseto e Siena.

I: Quali sono i servizi più impattanti dal punto di vista ambientale in una stazione sciistica?

S: Sicuramente gli aspetti da tenere più sotto controllo, da questo punto di vista, sono 3: l'innnevamento artificiale, la battitura delle piste e il funzionamento degli impianti di risalita.

I: Concentriamoci sull'innnevamento artificiale. Come funziona e quali sono le condizioni più adatte?

S: La pratica dell'innnevamento artificiale è molto dipendente dalle risorse disponibili. I cannoni da neve hanno generalmente 4 stadi: i primi 2 servono per produrre a temperature marginali, un terzo per T_{wb} compresa tra -7 e -5°C e un quarto per T_{wb} minori di -7°C , una condizione che si verifica raramente.

L'innnevamento avviene seguendo dei così detti "cicli", quando si hanno condizioni di temperatura e umidità ottimali per produrre neve si cerca di sfruttarli al massimo.

Ad inizio stagione la neve viene sparata con continuità anche per 60 ore consecutive, questo permette di creare un fondo compatto su cui anche i gattisti riescono a lavorare meglio anche in previsione di nevicate future. Nei mesi successivi, invece, gli interventi sono molto più ridotti e sono volti a sistemare quelle zone in cui lo spessore di neve è inferiore o comunque è presente un rischio per lo sciatore.

I: Parlando dell'Amiata: come è articolato l'impianto di innnevamento?

La stazione del Monte Amiata ha un invaso di 30-35milioni m^3 (figura 48) a 1400 m di quota, che preleva da una stazione di pompaggio più a valle (900 m s.l.m.). Questo notevole dislivello da superare provoca un elevato consumo per il pompaggio, tuttavia il lago artificiale in quota ha comunque un suo bacino scolante che in parte contribuisce a riempirlo.

Stazioni più grandi e moderne non hanno questo tipo di problema. Ne è un esempio quella di Madonna di Campiglio che presenta un invaso molto più grande: 250 000 m^3 ad una quota maggiore. Questo evita quindi alla stazione di dover pompare acqua da un bacino ad un'altezza inferiore ad uno ad un'altezza superiore e conseguendo così una riduzione delle spese.

E' importante, inoltre, sottolineare che, nel caso di stazioni sciistiche come quelle nel Trentino-Alto Adige, l'invaso può essere usato anche a scopo idroelettrico e quindi per la produzione di energia elettrica.

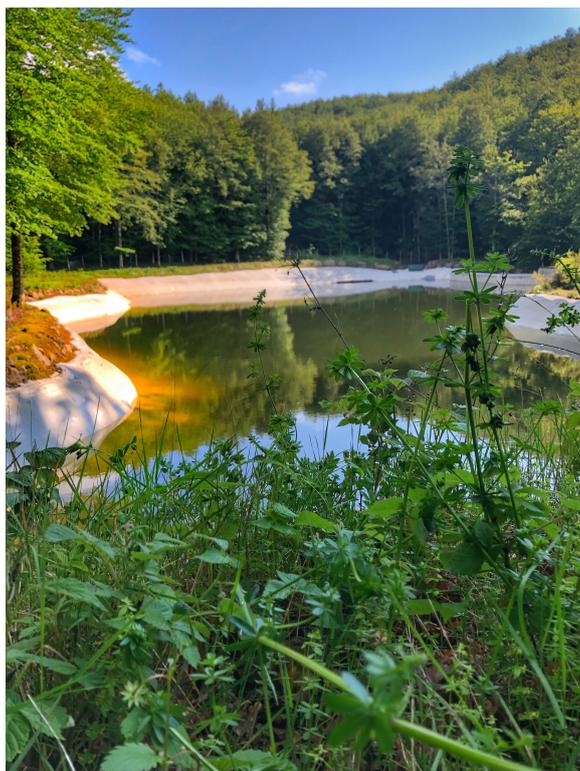


Figura 48: Lago artificiale con una capienza di 30-35 mila m^3 , situato sul Monte Amiata in località Macinaie, utilizzato per l'innevamento programmato

I: Mi saprebbe dare qualche informazione, sia dal punto di vista della meccanica sia economico, sulle macchine genera neve?

S: Tra i maggiori produttori di macchinari per l'innevamento vi sono sicuramente: TechnoAlpin, Leitner e Demaclenko. Personalmente sul Monte Amiata abbiamo tutte macchine TechnoAlpin, i cannoni F10 e T40 impiegano potenze di 16-20 kW, mentre le aste con compressore a bordo circa 5 kW. Entrambi questi tipi di macchine innevatrici, per poter funzionare, hanno bisogno che arrivi acqua ad una pressione di 17-20 bar. Questo è un contributo "fisso" che dovrebbe essere fornito dalla pompa anche se non ci fossero dislivelli da superare dal bacino al cannone. Per quanto riguarda il lato economico, invece, un cannone costa circa 25-30 k€, un'asta costa 8-10 k€ se con aria compressa centralizzata e 15 k€ se con compressore a bordo.

I: Che costo ha innevare artificialmente una pista?

S: Prendiamo sempre il caso del Monte Amiata, partendo da completa assenza di neve, per innevare 1.8 km di pista larga 20-25 m (circa 4ha di superficie), sono necessari: 400 kW di potenza dell'impianto di pompaggio, 10 ventole ognuna con una potenza di 20kW e 9 aste da 5 kW ciascuna. Le stazioni più moderne presentano anche torri di raffreddamento con una potenza di circa 35 kW a torre, se quindi facciamo qualche semplice calcolo otteniamo:

- potenza impiegata: $400+200+45+35=680$ kW
- consumo totale: $680 \times 60=40\ 800$ kWh
- spesa totale: $40\ 800 \times 0.2=8\ 160$ € (ipotizzando un costo di energia elettrica pari a 0.2 €/kWh comprendendo gli oneri di trasmissione)
- impronta di CO_2 : $40\ 800 \times 400=16.32$ t CO_2 (ipotizzando un fattore di emissione pari a 400 g CO_2 /kWh).

Di conseguenza avremo una spesa di 8 160 € e una produzione di 16.32 tCO₂ per occuparci di 1.8 km di pista. Se vogliamo quindi riferirci al costo dell'energia e alla produzione di anidride carbonica, per chilometro di pista, otteniamo dei valori che sono circa la metà di quelli appena citati.

I: Passiamo alla battitura delle piste, come lavora un gatto delle nevi?

S: La battitura giornaliera delle piste consiste in una sola "passata". Il gatto delle nevi ha un'ampiezza di 6 metri e, considerando che vi è una leggera sovrapposizione nelle traiettorie, per lavorare una pista larga 20 m sono necessari almeno 5 passaggi.

Un gattista, senza verricello, batte da 3 a 5 km di piste all'ora. In particolare il tempo varia in relazione alla densità della neve che si sta battendo. Alla fine delle operazioni si può avere una riduzione dello spessore del manto nevoso pari a 50 cm, tutto questo a favore di una maggiore compattezza.

Ipotizzando che un gatto delle nevi riesca a lavorare 4 km di pista in un'ora, con un consumo medio pari circa a 25 l/h, e che il fattore di emissione del gasolio usato sia pari a 2.62 kgCO₂/l, si ottiene che per battere un chilometro di pista la produzione di anidride carbonica è pari a:

$$\text{- impronta di CO}_2: \frac{25}{4} \times 2.62 = 16.38 \text{ kgCO}_2/\text{km}$$

I: Concludiamo con gli impianti di risalita, quali sono i più usati e su che base si sceglie la potenza del motore?

S: Sicuramente le tipologie più utilizzate sono le cabinovie, seguono poi le seggiovie ed infine gli skilift, usati per lo più nei campi scuola.

La distinzione principale da fare però, in relazione ai consumi, è la differenza che c'è tra l'utilizzo di impianti ad ammortamento fisso e automatico. La morsa automatica presenta un motore aggiuntivo per ottenere una riduzione della velocità della seggiola in fase di carico e scarico del passeggero. Questo ne comporta un consumo nettamente maggiore rispetto a una morsa fissa, dal momento che in questo caso non vi è una variazione di velocità e quindi è necessario un solo motore. La potenza è, invece, direttamente proporzionale al dislivello e alla lunghezza che l'impianto deve compiere. Perciò maggiori sono i valori assunti da queste due variabili, maggiore sarà la potenza necessaria per il motore.

I: Dal punto di vista turistico, qual è l'attuale situazione del Monte Amiata?

Sfortunatamente, dagli inizi del nuovo secolo, la situazione non è stata delle migliori, in particolare negli ultimi sei anni, per tre stagioni, le precipitazioni nevose sono state praticamente assenti. Il cambiamento climatico ha reso sempre più fondamentale l'utilizzo di neve artificiale per poter sciare. Sulle pendici del Monte Amiata ci sono 12 alberghi e diverse strutture che fanno da contorno alla stazione sciistica e che vivono principalmente di turismo invernale. E' quindi importante sfatare il mito secondo cui preparare una pista abbia un grande impatto ambientale, questo aiuterebbe in particolare tutte le piccole realtà come la nostra.

E' fondamentale che la gente sappia che è più inquinante raggiungere con la macchina una meta sciistica lontana, rispetto all'utilizzo di tutti i servizi necessari a poter praticare questo sport.

I: Stefano, la ringrazio per il tempo che ci ha dedicato e per le molte informazioni date. Le auguro un buon lavoro.

Riferimenti bibliografici

- Agenzia Europea per l'ambiente (2019). Emissioni di CO₂ delle auto: i numeri e i dati. Estratto da: <https://www.europarl.europa.eu> Accesso: 06/07/2020.
- Amiata impianti Senese (2019). Tutto sugli impianti e la neve sul monte Amiata. Estratto da: <http://www.amiataimpianti.it/> Accesso: 17/08/2020.
- Andrea Ferretti (2012). Anche lo skilift si converte al fotovoltaico. Estratto da: <https://www.neveitalia.it/> Accesso: 09/06/2020.
- Andrea Paganin (2017). Innevamento artificiale, cos'è e come funziona?. Estratto da: <https://www.asiagoneve.com/innevamento-artificiale>. Accesso: 09/05/2020.
- Ares (2020). Smarth Altitude. Estratto da: <http://ares.fbk.eu/> [Accesso: 3/07/2020]
- Arpa Lombardia, 2018. Gas climatranti e GWP. Estratto da: <http://ita.arpalombardia.it/> [Accesso: 10/07/2020]
- Bagliani Marco Maria, 2016-2017. Materiale didattico lezione di Contabilità Ambientale: anno accademico 2016 – 2017 Accesso: 15/06/2020
- Caprari (2020). Pompe centrifughe multistadio. Estratto da: <https://www.caprari.it/> Accesso: 04/08/2020.
- Christian Kapzinger (2018). Innovativo sistema di battitura di precisione nello SkiWelt Wilder Kaiser, Austria. Estratto da: <https://www.dovesciare.it/> Accesso: 11/06/2020.
- Della Valle Luca 2015-2016. Tesi di Laurea Magistrale: Analisi della Carbon Footprint come indicatore della sostenibilità preso il Campus Luigi Einaudi di Torino, Università di Torino, [Accesso: 8/07/2020]
- Emanuele Capone (2020). Our world in data. Estratto da: <https://ourworldindata.org/grapher/temperature-anomaly> [Accesso: 8/05/2020]
- Funivie.org (2020). Impianti come funziona? Come funziona l'ammorsamento automatico?. Estratto da: <https://www.funivie.org/> [Accesso: 16/08/2020]
- Harangozo Gabor, Szigeti Cecilia, 2017. Corporate Carbon Footprint analysis in practice – With a special focus on validity and reliability issues, in Journal of Cleaner Production [Accesso: 07/07/2020]
- IPCC, Climate change 2014. Synthesis Report - Summary for Policymakers, p. 2. Estratto da: <https://www.ipcc.ch/> [Accesso: 07/07/2020]
- IPCC 2014. The Fifth Assessment Report of the IPCC Estratto da: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/> [Accesso: 07/07/2020]
- ISPRA (2020). Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra nel settore elettrico nazionale e nei principali Paesi Europei. Estratto da: https://www.isprambiente.gov.it/files2017/pubblicazioni/rapporto/R_257_17.pdf [Accesso: 8/05/2020]
- ISPRA (2020). Analisi dei fattori di emissione di CO₂ del settore dei trasporti. Estratto da: <https://www.vanat.ch/RM-world-report-2019.pdf> [Accesso: 09/09/2020] bibitem [Laurent Vanat, 2019]Le Laurent Vanat (2019). International Report on Snow and Mountain Tourism. Estratto da: <https://www.leitner-ropeways.com/it/> [Accesso: 13/05/2020]
- Leitner (2020). Referenze sugli impianti di risalita. Estratto da: <https://www.leitner-ropeways.com/it/> [Accesso: 13/05/2020]
- Ministero dell'Ambiente (2020). Cos'è la carbon footprint?. Estratto da: <https://www.minambiente.it/pagina/cose-la-carbon-footprint> [Accesso: 25/08/2020]
- Our Common Future, 2017. Report of the World Commission on Environment and Development. Accesso: 10/07/2020
- Prinoth (2020). Misurazione 3D dell'altezza della neve. Estratto da: <https://www.prinoth.com/> Accesso: 02/07/2020.

Roland Stull (2011). Wet-Bulb Temperature from Relative Humidity and Air Temperature. Accesso: 10/09/2020

Skiresort.it (2020). Comprensori sciistici italia. Estratto da: <https://www.skiresort.it/comprensori-sciistici/italia/> Accesso: 31/08/2020.

Snowcarbon (2020). Estratto da: <https://www.snowcarbon.co.uk/> Accesso: 06/07/2020.

Terna (2020). Centro statistiche. Estratto da: <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/statistiche> Accesso: 13/05/2020.

Tgcom24 (2012). La funivia del Monte Bianco diventa "solare": impianto fotovoltaico a 3452 metri. Estratto da: <https://www.tgcom24.mediaset.it/> Accesso: 16/06/2020.

Vladimir Budinsky (2011). Role of fossil fuels in supporting renewable energy deployment. [Accesso: 22/09/2020]

Wikipedia (2020). Centrale idroelettrica di Santa Massenza. Estratto da: <https://it.wikipedia.org/> [Accesso: 22/06/2020]

W.W.F (2020). Riscaldamento globale: fermiamo la crisi climatica. Estratto da: https://www.wwf.it/il_pianeta/cambiamenti_climatici [Accesso: 8/05/2020]